

(19) 日本国特許庁 (JP)

## (12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号  
特開2000-299518  
(P2000-299518A)

(43) 公開日 平成12年10月24日 (2000.10.24)

(51) Int.Cl.  
H 0 1 S 3/06  
3/10

識別記号

F I  
H 0 1 S 3/06  
3/10テマコト<sup>®</sup> (参考)  
B 5 F 0 7 2  
Z

審査請求 未請求 請求項の数39 O L (全 29 頁)

(21) 出願番号 特願平11-277868  
 (22) 出願日 平成11年9月30日 (1999.9.30)  
 (31) 優先権主張番号 特願平11-32785  
 (32) 優先日 平成11年2月10日 (1999.2.10)  
 (33) 優先権主張国 日本 (JP)

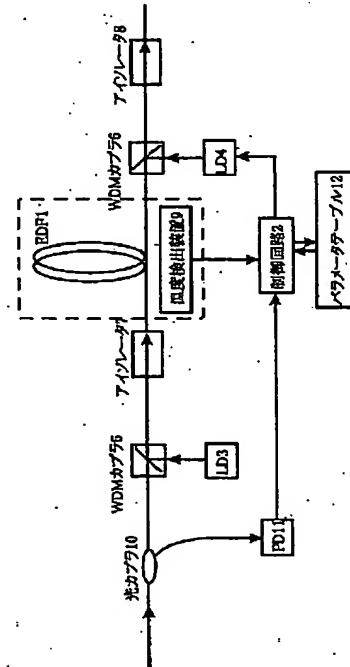
(71) 出願人 000000295  
 沖電気工業株式会社  
 東京都港区虎ノ門1丁目7番12号  
 (72) 発明者 鈴木 幹哉  
 東京都港区虎ノ門1丁目7番12号 沖電気  
 工業株式会社内  
 (72) 発明者 式井 澄  
 東京都港区虎ノ門1丁目7番12号 沖電気  
 工業株式会社内  
 (74) 代理人 100089093  
 弁理士 大西 健治  
 F ターム (参考) 5F072 AB09 AK06 HH02 HH03 JJ05  
 KK15 MM01 PP07 RR01 YY17

## (54) 【発明の名称】 光ファイバ増幅器及びその制御方法

## (57) 【要約】

【課題】 この発明は、L-band E D F Aに関して、幅広い動作条件下で、入力信号光パワーやEDFの環境温度等に起因する利得偏差の変動を補償することを目的とする。

【解決手段】 この発明の光ファイバ増幅器は、長波長帯で増幅動作を行うEDF 1と、このEDF 1に前方励起光を供給するための前方励起光源3と、制御信号に基づいて出力パワーが可変可能な後方励起光源4と、入力光パワーを検出するPD11と、EDF 1の温度を検出する温度検出装置9と、検出された入力光パワーと温度に基づいて、多重光信号の増幅の偏差を打ち消す方向に後方励起光源4の出力パワーを変更する制御信号を出力する制御回路2とから構成されている。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 長波長帯の複数の光信号が波長多重された多重光信号が供給され、前記長波長帯で増幅動作を行うエルビウムドープ光ファイバと、前記エルビウムドープ光ファイバに前方励起光を供給するための前方励起光源と、前記エルビウムドープ光ファイバに後方励起光を供給するための、制御信号に基づいて出力パワーが可変可能な後方励起光源と、前記エルビウムドープ光ファイバに入力される前記多重光信号の入力光パワーを検出する入力光パワー検出手段と、前記エルビウムドープ光ファイバの温度を検出する温度検出手段と、前記入力光パワー検出手段によって検出された入力光パワーと前記温度検出手段によって検出された温度に基づいて、前記多重光信号の増幅の偏差を打ち消す方向に前記後方励起光源の出力パワーを変更する前記制御信号を出力する制御回路とを有することを特徴とする光ファイバ増幅器。

【請求項2】 請求項1記載の光ファイバ増幅器において、前記制御回路は、特定の前記入力光パワーと特定の前記温度に対応する特定の前記制御信号を定義したパラメータテーブルを格納したメモリを有することを特徴とする光ファイバ増幅器。

【請求項3】 請求項1記載の光ファイバ増幅器において、前記長波長帯は1565nm帯以上の帯域であることを特徴とする光ファイバ増幅器。

【請求項4】 請求項1記載の光ファイバ増幅器において、前記前方励起光源は前記制御信号に基づいて出力パワーが可変可能であることを特徴とする光ファイバ増幅器。

【請求項5】 請求項1記載の光ファイバ増幅器において、前記入力パワー検出手段が、前記複数の信号光中の特定の信号光の入力パワーを検出することを特徴とする光ファイバ増幅器。

【請求項6】 長波長帯の複数の光信号が波長多重された多重光信号が供給され、前記長波長帯で増幅動作を行うエルビウムドープ光ファイバと、前記エルビウムドープ光ファイバに前方励起光を供給するための前方励起光源と、

前記エルビウムドープ光ファイバに後方励起光を供給するための、制御信号に基づいて出力パワーが可変可能な後方励起光源と、

前記エルビウムドープ光ファイバに入力される前記多重光信号の入力光パワーを検出する入力光パワー検出手段と、

前記エルビウムドープ光ファイバを所定の温度に保つ温度制御手段と、

前記入力光パワー検出手段によって検出された入力光

パワーと前記所定の温度に基づいて、前記多重光信号の増幅の偏差を打ち消す方向に前記後方励起光源の出力パワーを変更する前記制御信号を出力する制御回路とを有することを特徴とする光ファイバ増幅器。

【請求項7】 請求項6記載の光ファイバ増幅器において、前記制御回路が、前記所定の温度における特定の前記入力光パワーに対応する特定の前記制御信号を定義したパラメータテーブルを格納したメモリを有することを特徴とする光ファイバ増幅器。

【請求項8】 請求項6記載の光ファイバ増幅器において、前記長波長帯は1565nm帯以上の帯域であることを特徴とする光ファイバ増幅器。

【請求項9】 請求項6記載の光ファイバ増幅器において、前記前方励起光源は前記制御信号に基づいて出力パワーが可変可能であることを特徴とする光ファイバ増幅器。

【請求項10】 長波長帯の複数の光信号が波長多重された多重光信号が供給され、前記長波長帯で増幅動作を行うエルビウムドープ光ファイバと、

前記エルビウムドープ光ファイバに前方励起光を供給するための前方励起光源と、

前記エルビウムドープ光ファイバに後方励起光を供給するための、制御信号に基づいて出力パワーが可変可能な後方励起光源と、

前記エルビウムドープ光ファイバから出力される増幅された前記多重光信号の偏差を検出する出力光偏差検出手段と、

前記出力光偏差検出手段によって検出された前記多重光信号の偏差を打ち消す方向に前記後方励起光源の出力パワーを変更する前記制御信号を出力する制御回路とを有することを特徴とする光ファイバ増幅器。

【請求項11】 請求項10記載の光ファイバ増幅器において、前記長波長帯は1565nm帯以上の帯域であることを特徴とする光ファイバ増幅器。

【請求項12】 請求項10記載の光ファイバ増幅器において、前記出力光偏差検出手段は、前記エルビウムドープ光ファイバから出力される出力光の、前記長波長帯に含まれる2点の出力パワーを検出して偏位を算定することを特徴とする光ファイバ増幅器。

【請求項13】 請求項12記載の光ファイバ増幅器において、前記出力光偏差検出手段は、前記複数の信号光中の特定の信号光の出力パワーを検出して偏位を算定することを特徴とする光ファイバ増幅器。

【請求項14】 請求項12記載の光ファイバ増幅器において、前記出力光偏差検出手段は、前記長波長帯の増幅された自然放出光成分を検出して偏位を算定することを特徴とする光ファイバ増幅器。

【請求項15】 請求項10記載の光ファイバ増幅器において、前記前方励起光源は前記制御信号に基づいて出力パワーが可変可能であることを特徴とする光ファイバ

增幅器。

【請求項16】長波長帯の複数の光信号が波長多重された多重光信号が供給され、前記長波長帯で増幅動作を行うエルビウムドープ光ファイバと、前記エルビウムドープ光ファイバに前方励起光を供給するための前方励起光源と、前記エルビウムドープ光ファイバに後方励起光を供給するための、制御信号に基づいて出力パワーが可変可能な後方励起光源とを有する光ファイバ増幅器において、

前記エルビウムドープ光ファイバに入力される前記多重光信号の入力光パワーを検出し、

前記エルビウムドープ光ファイバの温度を検出し、制御回路によって、前記検出された入力光パワーと前記検出された温度に基づいて、前記多重光信号の増幅の偏差を打ち消す方向に前記後方励起光源の出力パワーを変更する前記制御信号を生成することを特徴とする光ファイバ増幅器の制御方法。

【請求項17】請求項16記載の光ファイバ増幅器の制御方法において、前記制御回路が、特定の前記入力光パワーと特定の前記温度に対応する特定の前記制御信号を定義したパラメーターテーブルを格納したメモリを有することを特徴とする光ファイバ増幅器の制御方法。

【請求項18】請求項16記載の光ファイバ増幅器の制御方法において、

前記エルビウムドープ光ファイバが所定の温度に保持され、

前記制御回路が前記保持された温度と前記検出された入力光パワーに基づいて、前記多重光信号の増幅の偏差を打ち消す方向に前記後方励起光源の出力パワーを変更する前記制御信号を生成することを特徴とする光ファイバ増幅器の制御方法。

【請求項19】長波長帯の複数の光信号が波長多重された多重光信号が供給され、前記長波長帯で増幅動作を行うエルビウムドープ光ファイバと、前記エルビウムドープ光ファイバに前方励起光を供給するための前方励起光源と、前記エルビウムドープ光ファイバに後方励起光を供給するための、制御信号に基づいて出力パワーが可変可能な後方励起光源とを有する光ファイバ増幅器において、

前記エルビウムドープ光ファイバから出力される増幅された前記多重光信号の偏差を検出し、

制御回路によって、前記検出された前記多重光信号の偏差を打ち消す方向に前記後方励起光源の出力パワーを変更する前記制御信号を生成することを特徴とする光ファイバ増幅器の制御方法。

【請求項20】請求項19記載の光ファイバ増幅器の制御方法において、前記エルビウムドープ光ファイバから出力される出力光の、前記長波長帯に含まれる2点の出力パワーを検出して前記多重光信号の偏位を算定することを特徴とする光ファイバ増幅器。

【請求項21】請求項20記載の光ファイバ増幅器の制御方法において、前記複数の信号光中の特定の信号光の出力パワーを検出して前記多重光信号の偏位を算定することを特徴とする光ファイバ増幅器の制御方法。

【請求項22】請求項20記載の光ファイバ増幅器の制御方法において、前記長波長帯の増幅された自然放出光成分を検出して前記多重光信号の偏位を算定することを特徴とする光ファイバ増幅器の制御方法。

【請求項23】複数の光信号が波長多重された多重光信号が供給される、前方励起と後方励起では波長依存性出力の傾きの傾向が異なる誘導放出媒体と、前記誘導放出媒体に前方励起光を供給するための前方励起光源と、前記誘導放出媒体に後方励起光を供給するための制御信号に基づいて出力パワーが可変可能な後方励起光源と、前記誘導放出媒体に入力される前記多重光信号の入力光パワーを検出する入力光パワー検出手段と、

前記誘導放出媒体の温度を検出する温度検出手段と、前記入力光パワー検出手段によって検出された入力光パワーと前記温度検出手段によって検出された温度に基づいて、前記多重光信号の増幅の偏差を打ち消す方向に前記後方励起光源の出力パワーを変更する前記制御信号を出力する制御回路とを有することを特徴とする光増幅器。

【請求項24】伝送路の上流に配置された複数の信号光を予め定められた偏差の範囲内に補償する利得偏差等化手段と、

前記伝送路の下流に配置された光ファイバ増幅器であって、この光ファイバ増幅器は、

前記複数の信号光が供給され、この複数の信号光を増幅して出力する第1の光ファイバ増幅部と、

前記第1の光ファイバ増幅部の出力光を制御信号に基づいて減衰して出力する可変減衰器と、

前記可変減衰器の出力光を増幅して出力する第2の光ファイバ増幅部と、

前記第2の光ファイバ増幅部から出力される前記複数の信号光の帯域の出力光パワーを検出する出力光パワー検出手段と、

前記検出された出力光パワーが、前記第1及び第2の光ファイバ増幅部で生じる利得偏差が抑圧された状態となる所定の値となる前記制御信号を生成するする制御回路とを有する、

ことを特徴とする光伝送システム。

【請求項25】請求項24記載の光伝送システムにおいて、前記制御回路は前記検出された出力光パワーが前記所定の値よりも大きい場合には前記可変光減衰器の減衰量を大きくし、前記検出された出力光パワーが前記所定の値よりも小さい場合には、前記可変光減衰器の減衰量を小さくする前記制御信号を生成することを特徴とする光伝送システム。

【請求項 26】 伝送路の上流に配置された複数の信号光を予め定められた偏差の範囲内に補償する利得偏差等化手段と、  
前記伝送路の下流に配置された光ファイバ増幅器であつて、この光ファイバ増幅器は、  
前記複数の信号光が供給され、この複数の信号光を増幅して出力する第1の光ファイバ増幅部と、  
前記第1の光ファイバ増幅部の出力光を制御信号に基づいて減衰して出力する可変減衰器と、  
前記可変減衰器の出力光を増幅して出力する第2の光ファイバ増幅部と、  
前記第1の光ファイバ増幅部に入力される前記複数の信号光の帯域の入力光パワーを検出する入力光パワー検出手段と、  
前記検出された入力光パワーに基づいて、前記第1及び第2の光ファイバ増幅部で生じる利得偏差が抑圧された状態となる前記制御信号を生成するする制御回路とを有することを特徴とする光ファイバ光伝送システム。

【請求項 27】 請求項 26 記載の光伝送システムにおいて、前記第1及び第2の光ファイバ増幅部の温度を検出する温度検出手段と、前記検出された入力光パワーと温度に基づいて、前記第1及び第2の光ファイバ増幅部で生じる利得偏差が抑圧された状態となる前記制御信号を生成するする制御回路とを有することを特徴とする光伝送システム。

【請求項 28】 予め定められた偏差の範囲内の複数の信号光が供給され、この複数の信号光を増幅して出力する第1の光ファイバ増幅部と、  
前記第1の光ファイバ増幅部の出力光を制御信号に基づいて減衰して出力する可変減衰器と、  
前記可変減衰器の出力光を増幅して出力する第2の光ファイバ増幅部と、  
前記第2の光ファイバ増幅部から出力される前記複数の信号光の帯域の出力光パワーを検出する出力光パワー検出手段と、  
前記検出された出力光パワーが、前記第1及び第2の光ファイバ増幅部で生じる利得偏差が抑圧された状態となる所定の値となるような前記制御信号を生成するする制御回路とを有することを特徴とする光ファイバ増幅器。

【請求項 29】 請求項 28 記載の光ファイバ増幅器において、前記制御回路は前記検出された出力光パワーが前記所定の値よりも大きい場合には前記可変光減衰器の減衰量を大きくし、前記検出された出力光パワーが前記所定の値よりも小さい場合には、前記可変光減衰器の減衰量を小さくする前記制御信号を生成することを特徴とする光ファイバ増幅器。

【請求項 30】 請求項 28 記載の光ファイバ増幅器において、前記制御回路は前記検出された出力光パワーを前記複数の信号光の数で割った値と前記所定の値とを比較して前記制御信号を生成することを特徴とする光ファ

イバ増幅器。

【請求項 31】 予め定められた偏差の範囲内の複数の信号光が供給され、この複数の信号光を増幅して出力する第1の光ファイバ増幅部と、  
前記第1の光ファイバ増幅部の出力光を制御信号に基づいて減衰して出力する可変減衰器と、  
前記可変減衰器の出力光を増幅して出力する第2の光ファイバ増幅部と、  
前記第1の光ファイバ増幅部に入力される前記複数の信号光の帯域の入力光パワーを検出する入力光パワー検出手段と、  
前記検出された入力光パワーに基づいて、前記第1及び第2の光ファイバ増幅部で生じる利得偏差が抑圧された状態となる前記制御信号を生成するする制御回路とを有することを特徴とする光ファイバ増幅器。

【請求項 32】 請求項 31 記載の光ファイバ増幅器において、前記第1及び第2の光ファイバ増幅部の温度を検出する温度検出手段と、前記検出された入力光パワーと温度に基づいて、前記第1及び第2の光ファイバ増幅部で生じる利得偏差が抑圧された状態となる前記制御信号を生成するする制御回路とを有することを特徴とする光ファイバ増幅器。

【請求項 33】 請求項 31 記載の光ファイバ増幅器において、前記制御回路は特定の前記入力光パワーと特定の前記温度に対応する特定の前記制御信号を定義したパラメータテーブルを格納したメモリを有することを特徴とする光ファイバ増幅器。

【請求項 34】 請求項 31 記載の光ファイバ増幅器において、前記制御回路は前記温度が増加した場合には減衰量を減らす方向にシフトさせ、温度が低下した場合には減衰量を増やす方向にシフトさせることを特徴とする光ファイバ増幅器。

【請求項 35】 請求項 31 記載の光ファイバ増幅器において、前記第1及び第2の光ファイバ増幅部を所定の温度に保つ温度制御回路を有することを特徴とする光ファイバ増幅器。

【請求項 36】 請求項 31 記載の光ファイバ増幅器において、前記制御回路は前記検出された入力光パワーを前記複数の信号光の数で割った値に基づいて前記制御信号を生成することを特徴とする光ファイバ増幅器。

【請求項 37】 複数の信号光が供給され、この複数の信号光を増幅して出力する第1の光ファイバ増幅部と、前記第1の光ファイバ増幅部の出力光を制御信号に基づいて減衰して出力する可変減衰器と、  
前記可変減衰器の出力光を増幅して出力する第2の光ファイバ増幅部と、

前記第2の光ファイバ増幅部から出力される前記複数の信号光中の短波長側の第1の信号光の出力光パワーと長波長側の第2の信号光の出力光パワーとを検出する出力光パワー検出手段と、

前記検出された第1及び第2の信号光の出力光パワーとを比較して利得偏差を求め、この利得偏差が抑圧された状態となる前記制御信号を生成するする制御回路とを有することを特徴とする光ファイバ増幅器。

【請求項38】 請求項37記載の光ファイバ増幅器において、前記制御回路は第1の信号光の出力光パワーの方が前記第2の信号光の出力光パワーよりも大きいときは前記可変減衰器の減衰量を減少させ、第2の信号光の出力光パワーの方が前記第1の信号光の出力光パワーよりも大きいときは前記可変減衰器の減衰量を増加させる制御を行うことを特徴とする光ファイバ増幅器。

【請求項39】 請求項28, 31あるいは37記載の光ファイバ増幅器において、前記可変減衰器の可変幅が前記第1の光ファイバ増幅部の入力パワーダイナミックレンジと同一であることを特徴とする光ファイバ増幅器。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】この発明は、エルビウムドープ光ファイバを用いて長波長帯の光信号增幅を行う光増幅器に関するものである。

【0002】

【従来の技術】光増幅器としては、例えば、希土類元素の一つである $Er^{3+}$ （エルビウムイオン）がコアにドープされたエルビウムドープ光ファイバ（以下、EDF）を利用したEDFA（Er doped fiber amplifier）が知られている。このEDFAでは、EDF内に励起光を供給することによって、反転分布状態が形成される。そして、その状態のEDF中に信号光が入射されると、誘導放出作用によって信号光が増幅される。

【0003】このような光増幅器を用いて複数の信号光の増幅を行なう場合、これら複数の信号光のパワーが均一であったとしても増幅された各信号光のパワーが波長によって異なってしまう波長依存性利得偏差（以下、単に利得偏差と呼ぶ）が問題となっており、この利得偏差の抑圧が重要な課題となっている。

【0004】そして、近年の波長多重伝送システムにおける更なる増幅帯域拡大の要求に伴い、1565nm帯以上の1580nm付近に利得帯域を有する長波長帯EDFA（以下、L-band EDFA）の開発が注目されている。

【0005】このL-band EDFAを用いて、信号光パワーが均一な複数の波長の信号光を増幅した場合、図2に示すような利得偏差が生じる。

【0006】そしてこのようなL-band EDFAを、多段に接続して信号光の増幅を行った場合には、この利得偏差が累積していき、波長によってはS/N劣化や、最悪の場合、信号消失を招く原因となる可能性がある。

【0007】このL-band EDFAの利得偏差を軽減、又は補償するための技術に関しても、従来から提案され

ているが、これらの方法は、入力パワー変化に対する平坦化手法であり、L-band EDFAにおいて顕著に現れる温度変化に対する利得偏差の変化は、その現象自体正確には把握されていない。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】EDFAを実運用システムに適用する場合、入力パワー変動だけでなく、温度変化に対しても特性を補償する必要がある。

【0009】L-band EDFAにおいて利得偏差の補償を困難にする要因の一つは、1550nm帯を增幅するEDFA（以下、C-band EDFA）同様、入力パワー変動であるが、増幅媒体の長いL-band EDFAでは、この他にC-band EDFAでは無視されてきたEDF自体の温度依存性も問題となっている。

【0010】一般的に、L-band EDFAの利得偏差は一定ではなく、入力信号光の入力パワーの変化に応じて偏差が異なったものになる。すなわち、多波増幅出力信号の波長依存性が変化する。

【0011】例えば上記図2及び図3～図7は、特定のEDFAに関して、他の条件は同一で、入力信号光のパワーを変化させた場合の利得偏差の変化を示したものである。図2の(a)～図7と図2は各々、入力パワー $P_{in}$ が-12dBm/ch, -15dBm/ch, -18dBm/ch, -21dBm/ch, -24dBm/ch及び-27dBm/chの場合の測定結果であり、それぞれの利得偏差 $\Delta G$ は0.43dB, 2.90dB, 5.10dB, 7.10dB, 8.91dB及び10.40dBとなっている。

【0012】更に、この利得偏差は、入力パワーが同一であっても、EDF自体の環境温度の変動によって、大きく変化する。図8～図11は、図2～図7の測定に用いたのと同一のEDFに関しての、特定の励起光パワー下における、温度変化と利得偏差の変化との関係を示した図である。これらの図に示されたEDFは、各入力パワー $P_{in}$ に対して、EDFの環境温度が25°Cの状態で、利得偏差 $\Delta G$ が<0.8dBとなるように調整されている。そしてEDFの環境温度を変化すると、入力パワー $P_{in}$ が何れの場合であっても、温度の変化に応じて利得偏差 $\Delta G$ が大きく変化していることが判る。

【0013】以上の説明から明らかのように、L-band EDFAの利得偏差の補償を行うためには、入力パワーの変化と環境温度の変化という、二つの変動要素に対応した補償を行う必要がある。

【0014】しかしながら、従来から知られている利得偏差を補償するための手法によっては、入力パワー変化と温度変化が生じた場合、利得平坦化は確保できない。

【0015】そして、L-band EDFAにおける、EDFの温度依存性による利得偏差の変化を補償するための手段については、具体的な解決手段は未だ提案されていない。

【0016】以上の理由により、L-band EDFAを中継器等に用いて、長距離の光伝送を行うために、信号光パワーが均一な複数の波長の入力信号光を、均一に増幅して出力することが求められる。

【0017】

【課題を解決するための手段】以上説明した問題点を解決するために、この発明の光ファイバ増幅器は、長波長帯の複数の光信号が波長多重された多重光信号が供給され、この長波長帯で増幅動作を行うエルビウムドープ光ファイバと、このエルビウムドープ光ファイバに前方励起光を供給するための前方励起光源と、エルビウムドープ光ファイバに後方励起光を供給するための、制御信号に基づいて出力パワーが可変可能な後方励起光源とを有し、制御回路から、このエルビウムドープ光ファイバに入力される多重光信号の入力光パワーとエルビウムドープ光ファイバの温度に基づいて、多重光信号の増幅の偏差を打ち消す方向に後方励起光源の出力パワーを変更する制御信号を出力する構成としたものである。

【0018】あるいは、制御回路から、このエルビウムドープ光ファイバから出力される増幅された多重光信号の偏差に基づいて、この偏差を打ち消す方向に後方励起光源の出力パワーを変更する制御信号を出力する構成としたものである。

【0019】

【発明の実施の形態】この発明の各実施例の説明を行う前に、この発明の基礎となる、L-band EDFAの光信号増幅について、説明する。

【0020】なお、以降の説明において、入力信号光と同一の方向からEDFへ励起光を入力する励起方式を前方励起と呼び、入力信号光と反対の方向から励起光を入力する励起方式を後方励起と呼ぶ。そして、これら前方励起と後方励起を組み合わせた励起方式を双方向励起と呼ぶ。

【0021】一般的なC-band EDFAは、励起光によってEDF内を完全反転分布状態にして動作させる。それに対して、L-band EDFAは、完全反転分布状態に比べ、約30～40%位の励起状態にて動作させ、増幅波長帯域を長波長側にシフトさせる。このような動作を実現するために、従来のC-band EDFAに比べ、同じ励起パワーに対しては約10倍の長さのEDFを必要とする。その結果、従来のC-band EDFAとは異なる増幅特性を示す。

【0022】図12～図14は、長波長帯(1580nm帯)での信号増幅に用いられる、一般的なL-band EDFAに関する、入力信号光の入力パワーと波長依存性出力の傾きとの関係を、入力パワーが-12dBm/ch, -18dBm/ch及び-24dBm/chの場合について、各種励起方式ごとに示したものである。これらの図12～図14において、前方励起と後方励起は各々、励起光パワー100mWに設定されており、双方向励起はこれら前方励起と後方励起を組み合わせた、励起

光パワー100mW+100mWに設定されている。

【0023】これらの図12～図14に示されている通り、前方励起と後方励起を比較すると、励起光パワーが同一の場合には、後方励起の方が1570nm帯における利得が高くなる傾向にある。そして、後方励起の利得偏差と入力信号光パワーとの関係は、入力パワーが低下するほど、1570nm帯における出力が上昇する傾向にある。しかしながら、何れの入力パワーであっても、前方励起と後方励起の波長依存性出力の傾きの傾向は逆になっている。すなわち、前方励起の場合は長波長側の利得の方が短波長側よりも高くなる傾向を持っているのに比べて、後方励起では逆の傾向を持っている。

【0024】これらの関係に基づき、入力信号光パワーの低下に対して、後方励起側の励起光パワーを適切に調整することで、利得偏差が低減／補償できることが判る。

【0025】このような原理に基づいて、実際に後方励起側の励起光パワーを調整して出力の平坦化を行った結果を、図15～図17に示す。

【0026】この図15～図17は、上記図12～図14に対応させて、入力パワーPinが-12dBm/ch, -18dBm/ch及び-24dBm/ch、前方励起側の励起光パワー100mWの場合に、後方励起側の励起光パワーを調整した結果を表している。図15～図17では、後方励起側の励起光パワーを各々100mW, 51mW及び19mWに調整されている。その結果、各々の利得偏差△Gは0.43dB, 0.74dB及び0.31dBとなり、入力パワーPinに依らず利得偏差が補償され得ることが判る。

【0027】以上の実験は、EDFの環境温度が一定の状態で行われたものであるが、上述の通り、利得偏差はEDFの環境温度によっても変動する。上述の図8～図11は、EDFの環境温度が25℃の場合に、-15dBm/ch, -18dBm/ch, -21dBm/ch及び-24dBm/chの各入力光パワーに対して、利得偏差が最低になるように、各後方励起側の励起光パワーが調整されているが、環境温度が25℃からずれると、入力光パワー及び励起光パワーが同じ場合であっても、利得偏差が増加してしまう。

【0028】しかしながら、EDFの環境温度が異なる場合であっても、前方励起と後方励起の波長依存性出力の傾きの傾向は逆になっているので、特定の環境温度と特定の入力光パワーに対応した、利得偏差が最低となる後方励起側の励起光パワーの条件が存在する。図18～図21は、入力光パワーが-15dBm/ch, -18dBm/ch, -21dBm/ch及び-24dBm/chの各場合について、環境温度の変化に対応させて後方励起側の励起光パワーを適宜調整した結果である。この図から明らかのように、後方励起側の励起光パワーを調整することで、上述の環境温度が25℃で利得偏差が最低とな

る状態とは励起光パワーの絶対値は異なるが、利得偏差を減少させることができある。

【0029】以上の説明からも明らかなように、L-band E D F Aでは、E D Fの特性等によって具体的な値は異なるが、入力光パワー条件及びE D Fの環境温度条件に基づいて、利得偏差が最低となる後方励起側の励起光パワーを決定することが可能である。よって、入力光パワーと環境温度を測定し、その条件下で利得偏差が最低となるように後方励起側の励起光パワーを制御することで、入力光パワーの変動に対してもE D Fの環境温度の変動に対しても追従して、利得偏差を低減させることができとなる。

【0030】以上が、この発明の基本的な考え方であり、この発明を利用した実施例について、以下に説明する。

【0031】(第1の実施例) 図1に、第1の実施例の、双方向励起方式のL-band E D F Aの構成を示す。このL-band E D F Aは、長波長帯の複数の光信号が波長多重された多重光信号を、増幅することを目的としており、信号光の経路上には、入射側から、入力信号光を分歧する光カプラ10、波長選択性を有するWDMカプラ5、アイソレータ7、E D F 1、波長選択性を有するWDMカプラ6及びアイソレータ8が順次配置されている。

【0032】WDMカプラ5には、レーザダイオード(L D)からなる前方励起光源3が接続されており、同様に、WDMカプラ6には、LDからなる後方励起光源4が接続されている。そして、各励起光源3、4からの励起光を、それぞれWDMカプラ5、6を介してE D F 1に供給される。

【0033】なお、これらの励起光源3、4のうち、前方励起光源3は出力パワーが固定されており、後方励起光源4は、制御信号に基づいて出力パワーを可変できる構成になっている。

【0034】また、光カプラ10には、入力信号光の一部を抽出しその入力信号光パワーを検出するホトダイオード(P D) 11が接続されている。なお、この実施例では上記複数の光信号をトータルした入力信号光パワーを検出しているが、各光信号は、ほぼ均一のパワーでL-band E D F Aに入力されるように設定されているので、特定の光信号の入力パワーを検出して入力信号光パワーを算出することもできる。

【0035】更に、E D F 1の近傍には、E D F 1の環境温度を検出するための温度検出装置9が配置されており、これらの検出された入力光パワーと環境温度の情報は、制御回路2に送られる。

【0036】この制御回路2は、メモリに格納されたパラメーターテーブル12を有している。このパラメーターテーブル12は、図22に示されるように、入力光パワーと環境温度の両条件の変化に対応したマトリクスを有しており、各条件の場合に利得偏差が最小化するような後方励

起光源4の出力パワーが定義されている。なお、この図22において、Pinが入力信号光パワー、TがE D Fの環境温度そしてPpump(b)は後方励起光源の出力パワーを表している。

【0037】そして、この制御回路2は、検出された入力光パワーと環境温度に基づいてパラメーターテーブル12を参照し、最適な後方励起光源4の出力パワーを決定し、対応する制御信号を後方励起光源4に送出する。

【0038】この結果、後方励起光源4は、検出された特定の入力光パワーと特定の環境温度に対応した、利得偏差が最小となる最適な出力パワーをE D F 1に供給する。

【0039】この実施例によれば、入力信号光パワーと環境温度に基づいて後方励起側の励起光パワーを制御するだけで、利得偏差の低減が可能になる。

【0040】(第2の実施例) 次に、図23に、第2の実施例の、双方向励起方式のL-band E D F Aの構成を示す。この第2の実施例と第1の実施例は、アイソレータ8から出力された前方励起光源3も制御回路2からの制御信号に基づいて出力パワーを可変できる構成になっている点で、構成が相違する。

【0041】この制御回路2に接続されているパラメーターテーブル12は、入力光パワーと環境温度の両条件の変化に対応したマトリクスを有しており、各条件の場合に利得偏差が最小化するような前方励起光源3と後方励起光源4の出力パワーが定義されている。

【0042】そして、この制御回路2は、検出された入力光パワーと環境温度に基づいてパラメーターテーブル12を参照し、最適な前方励起光源3と後方励起光源4の出力パワーを決定し、対応する制御信号を前方励起光源3と後方励起光源4に送出する。

【0043】この結果、前方励起光源3と後方励起光源4は、検出された特定の入力光パワーと特定の環境温度に対応した、利得偏差が最小となる最適な出力パワーをE D F 1に供給する。

【0044】先に説明した第1の実施例では、後方励起側の励起光パワーのみを制御する構成を示したが、入力光パワーやE D F 1の環境温度条件によっては、後方励起側の励起光パワーを0mWにしなければならない場合や、希ではあるが、場合によっては利得偏差が低減できない場合も有り得る。このような状態を防止するためには、この第2の実施例のように、前方励起側の励起光パワーも制御するような構成が望ましい。

【0045】この実施例によれば、入力信号光パワーと環境温度に基づいて、前方励起側と後方励起側の励起光パワーを最適に配分することができるので、第1の実施例よりも広い範囲の入力信号光パワー及び環境温度の変動に追従して、出力平坦化を実現することができる。

【0046】(第3の実施例) 次に、図24に、第3の実施例の、双方向励起方式のL-band E D F Aの構成を示

す。この第3の実施例では、信号光の経路上には、入射側から、入力信号光を分岐する光カプラ10、波長選択性を有するWDMカプラ5、アイソレータ7、EDF1、波長選択性を有するWDMカプラ6、アイソレータ8及び出力信号光を分岐する光カプラ13が順次配置されている。

【0047】WDMカプラ5には、LDからなる前方励起光源3が接続されており、同様に、WDMカプラ6には、LDからなる後方励起光源4が接続されている。そして、各励起光源3、4からの励起光を、それぞれWDMカプラ5、6を介してEDF1に供給される。なお、これらの励起光源3、4は、制御信号に基づいて出力パワーを可変できる構成になっている。

【0048】光カプラ10には、入力信号光の一部を抽出しその入力信号光パワーを検出するPD11が接続されている。同様に光カプラ13には、出力信号光の一部を抽出しその出力信号光パワーを検出するPD14が接続されている。更に、EDF1の近傍には、EDF1の環境温度を検出するための温度検出装置9が配置されており、これらの検出された入力光パワー、出力光パワー及び環境温度の情報は、制御回路2に送られる。

【0049】この制御回路2は、これら入力光パワー及び出力光パワーに基づいて利得を計算し、予め判明している、入力状態、環境温度に対して利得偏差が最小となる利得との比較を行う。そして、最適な励起光パワーがEDF1に供給されるように、励起光源4及び必要により励起光源3の出力パワーを制御する。

【0050】(第4の実施例)上記第1～第3の実施例は、利得偏差が入力光パワーだけでなく、EDF1の環境温度の変化によっても変動することに対応した構成である。逆に言えば、EDF1の環境温度を一定に保つことができれば、利得偏差は入力光パワーによってのみ依存して変化することになり、励起光パワーの制御が簡略化できる。

【0051】第4の実施例は、上記第1の実施例にこの発想を当てはめたものであり、図25に示すように、温度検出装置の代わりに、ペルチェ素子や恒温槽あるいは放熱器等からなる温度制御手段18が設けられている。この温度制御手段18は、EDF1の環境温度を測定しこの環境温度が設定温度25℃を保つよう、制御回路2によって制御されている。

【0052】この図25の制御回路2も、パラメータテーブル12を有しているが、このパラメータテーブル12には、図26に示されるように、環境温度が25℃場合の入力光パワーの変化に対応した、利得偏差が最小化するような後方励起光源4の出力パワーが定義されている。なお、この図26において、Pinが入力信号光パワー、TがEDFの温度そしてP<sub>pump</sub>(b)は後方励起光源の出力パワーを表している。

【0053】そして、この制御回路2は、検出された入力光パワーに基づいてパラメータテーブル12を参照し、

最適な後方励起光源4の出力パワーを決定し、対応する制御信号を後方励起光源4に送出する。

【0054】この結果、後方励起光源4は、所定の環境温度と検出された特定の入力光パワーに対応した、利得偏差が最小となる最適な出力パワーをEDF1に供給することができる。

【0055】(第5の実施例)図27にその構成を示した第5の実施例は、上記第2の実施例に対応した構成に、第4の実施例と同様の温度制御手段18を設けたものである。この温度制御手段18も、EDF1の環境温度を所定の値に保つように設定されている。

【0056】この図27の制御回路2も、パラメータテーブル12を有しているが、このパラメータテーブル12は、所定の環境温度の場合の入力光パワーの変化に対応した、利得偏差が最小化するような後方励起光源4の出力パワーが定義されている。

【0057】そして、この制御回路2は、検出される入力光パワーに基づいてパラメータテーブル12を参照し、最適な前方励起光源3と後方励起光源4の出力パワーを決定し、対応する制御信号を前方励起光源3と後方励起光源4に送出する。

【0058】この結果、前方励起光源3と後方励起光源4は、所定の環境温度と検出された特定の入力光パワーに対応した、利得偏差が最小となる最適な出力パワーをEDF1に供給することができる。

【0059】(第6の実施例)図28にその構成を示した第6の実施例は、上記第3の実施例に対応した構成に、第4の実施例と同様の温度制御手段18を設けたものである。この温度制御手段18も、EDF1の環境温度を所定の値に保つように設定されている。

【0060】この制御回路2は、これら入力光パワー及び出力光パワーに基づいて利得を計算し、予め判明している、入力状態、環境温度に対して利得偏差が最小となる利得との比較を行う。そして、最適な励起光パワーがEDF1に供給されるように、励起光源4及び必要により励起光源3の出力パワーを制御する。

【0061】(第7の実施例)以上説明した第1～第6の実施例では、入力信号光のパワーを検出しているが、出力光の偏差を検出し、その検出された利得偏差が打ち消される方向に後方励起光源の出力パワーを変更することによっても、利得偏差を補償することが可能である。

【0062】そして出力信号光の偏差は、図29に示したように、出力光の、長波長帯に含まれる2点の出力パワー、例えば複数の信号光λ1、λ2、λ3及びλ4中の特定の信号光λ1及びλ4の出力パワーP<sub>λ1</sub>及びP<sub>λ4</sub>を検出するか、あるいはこれら複数の信号光の近傍の、増幅された自然放出光(ASE:Amplified Spontaneous Emission)成分の出力パワーP<sub>a1</sub>及びP<sub>a4</sub>を検出することによって、容易に算定することができる。

【0063】このような、出力光の偏差を検出して利得

偏差を補償するL-band E DFAの構成を、図30に第7の実施例として示す。

【0064】このL-band E DFAでは、信号光の経路上には、入射側から、波長選択性を有するWDMカプラ5、アイソレータ7、EDF1、波長選択性を有するWDMカプラ6、アイソレータ8、光カプラ15a及び光カプラ15bが順次配置されている。

【0065】WDMカプラ5には、LDからなる前方励起光源3が接続されており、同様に、WDMカプラ6には、LDからなる後方励起光源4が接続されている。そして、各励起光源3、4から出力される励起光は、それぞれWDMカプラ5、6を介してEDF1に供給される。

【0066】なお、これらの励起光源3、4は、各自制御信号に基づいて出力パワーを可変できる構成になっている。

【0067】光カプラ15aから抽出された出力信号光は、波長 $\lambda_1$ の出力光成分のみを透過するバンドパスフィルタ(BPF)16aによって出力信号光の一部のみが抽出され、PD17aによって、その出力信号光パワー $P_{\lambda_1}$ が検出される。

【0068】同様に、光カプラ15bから抽出された出力信号光は、波長 $\lambda_4$ の出力光成分のみを透過するBPF16bによって出力信号光の一部のみが抽出され、PD17bによって、その出力信号光パワー $P_{\lambda_4}$ が検出される。

【0069】この検出された出力信号光パワー $P_{\lambda_1}$ 、 $P_{\lambda_4}$ は共に制御回路2に入力され、制御回路2は、長波長側の出力信号光パワー $P_{\lambda_1}$ を基準にし、その他の出力信号光パワー $P_{\lambda_4}$ がほぼ同じ値となるように、最適の励起パワーが後方励起光源4及び必要により前方励起光源3の励起光パワーを最適な値に制御する。

【0070】以上の説明から明らかなように、この実施例では、光カプラ15a、15b、BPF16a、16b及びPD17a、17bによって出力光偏差検出手段Aを構成しているが、他の構成によって出力光偏差検出手段を実現することが可能である。

【0071】例えば、図31に示したビームスプリッタによって各波長の信号成分を2分岐し、他にも出力モニタを有するよう構成や、図32に示した光カプラによって2分岐し、更にバンドパスフィルタ(BPF)で各波長の信号成分を分岐する構成、あるいは図33に示した信号の進行方向に対し、直列に波長選択性のある光カプラか、波長選択性の有するPDによって各波長の信号成分を分岐する構成によっても出力光偏差検出手段を実現することができる。同様に、図34に示した受光器にPDを用いずにチャネルモニタなどの何らかの出力モニタを設ける構成や、図35に示した波長選択性の有するPDを直に受光器として用いる構成によっても出力光偏差検出手段を実現することができる。

【0072】(第8の実施例) 次に、この発明の第8の

実施例の構成を、図36に示す。

【0073】この実施例のL-band E DFAでは、信号光の経路上に入射側から、可変光アッティネータ19、光ファイバ増幅器20、出力光を分岐する光カプラ21が順次配置されている。なお、この光ファイバ増幅器20は、上記の第1～第7の実施例の何れかを適用することができ

る。

【0074】この光カプラ21から分岐された出力信号光はバンドパスフィルタ(BPF)24を通過した後に、PD22で出力信号光パワーが検出され、この検出結果に基づいて制御回路23で、全ての入力信号光パワーに対して出力が一定になるように、入力側の可変光アッティネータ19の減衰量を減衰させる構成である。

【0075】図37は、各温度条件に応じて利得偏差が、1dB以下になるように後方励起側の励起光パワーを制御した後の、温度に対する出力パワーの関係を示している。

【0076】この図中のb)の曲線は、第1～第7の実施例の効果の一例であり、各温度に対して利得偏差1dB以下を満たしているが、出力パワーは一定ではない。

それに対して、a)の曲線は、第8の実施例の効果の実施例の一例を示したものであり、この結果に示されている通り、図36の構成を用いて目標と出力に対して光アッティネータの減衰量を変化させる事で、出力を一定に制御することが可能となる。

【0077】この発明は、現段階では長波長帯で增幅動作を行うエルビウムドープ光ファイバに適用するものであるが、このような使用状態のエルビウムドープ光ファイバと同様に、前方励起と後方励起では波長依存性出力の傾きの傾向が異なる誘導放出媒体を利用した光増幅器であれば、本発明と同様の手法で利得平坦化を実現することが可能である。

【0078】また、第4～第6の実施例の温度制御手段18は、所定の環境温度として25℃を保つように設定されているが、当然のことながら、EDFAの使用環境等を考慮して、任意に設定することが可能である。

【0079】更に、第4～第6の実施例の温度制御手段18は、予め定められた単一の環境温度を保つように制御され、パラメータテーブルもその環境温度に対応したものののみを有しているが、温度制御手段が複数の環境温度の何れかを選択するような構成も考えられる。例えば第1～第3の実施例の場合、環境温度は任意に変動する可能性があり、その全てに対応して正確な制御をおこなうためには、各環境温度に対応する膨大なパラメータテーブルを作成しなければならない。

【0080】しかしながら、例えば、パラメータテーブルを5℃刻みに作成しておき、温度制御手段で測定されたEDFの環境温度を、パラメータテーブルの最も近接している環境温度となるよう、冷却あるいは加熱するような構成としてもよい。より具体的に説明すると、パラメ

17

ータテーブルを10°C, 15°C, 20°C及び25°Cで作成しておき、測定された環境温度が21°Cだった場合には、温度制御手段によって環境温度を20°Cにするような制御が考えられる。このような構成とすれば、最低限の温度制御と少ないパラメータテーブルで、利得偏差の正確な補償が可能となる。

【0081】また、上記各実施例の光カプラやアイソレータの接続関係は、双方向励起タイプのEDFAにおける一般的な接続例であり、これら光カプラやアイソレータの接続順序が逆の構成であっても、この発明を適用することが可能である。

【0082】同様に、上記各実施例は1段構成のL-band EDFAについて説明しているが、多段接続されたL-band EDFAに対しても、本発明を適用できる。

【0083】さらに、上記各実施例では、前方励起光源及び後方励起光源として、各々単一のLDを用いていますが、各励起光源は偏波合成や波長多重を行った励起光を供給するような構成としても良い。

【0084】(第9の実施例) 以上説明した各実施例は、L-band EDFAの利得偏差抑圧に関するものであったが、利得偏差の抑圧は、L-band, C-band共通の課題であり、以下に、L-band EDFA及びC-band EDFA両方の利得偏差抑圧に適用可能な光ファイバ増幅器の構成及びその制御方法を説明する。

【0085】上述の通り利得偏差は、入力信号光パワー(及び温度)等の条件変化によって、その度合や傾向が変化し、そのために利得偏差を抑圧するための制御が複雑化することになる。

【0086】逆にいえば、入力される信号光パワー(及び温度)等の条件を固定することが出来れば、その特定の動作条件下において利得偏差の発生を、防止あるいは光伝送システムにとって許容できる範囲に抑圧することは、比較的容易に可能である。そして、このような動作条件下にある光ファイバ増幅器に、予め定められた偏差の範囲内(及びS/N比の範囲内)の複数の信号光が供給されるのであれば、この光ファイバ増幅器から出力される複数の信号光の偏差も、光伝送システムにとって許容できる範囲に抑えることが可能となる。

【0087】このような動作条件は、光ファイバ増幅器に用いられている増幅媒体の特性の相違のために一意に決定される訳ではないが、例えば特開平07-193542や特開平09-153865にそのような動作条件の存在が説明されている。

【0088】これらの従来技術では、EDFAに入力される入力信号光パワーと、EDFAから出力される出力信号光パワーとを比較し、EDFAが入力信号光パワーに依らず所定の増幅率となるようにEDFAの励起光パワーを調整する構成となっており、これによって上記特定の動作条件を維持している。

【0089】このような構成の場合、利得平坦化を実現

10

18

させるためには、出力信号光の状態を正確に把握する事が重要である。しかし、一般的な構成からなる光ファイバ増幅器の出力は、増幅された出力信号光だけではなく、増幅された雑音成分であるASEも加算されたものである。

【0090】そして、入力信号光パワーレベルとASEパワーの関係は、図38, 39に示すように、入力信号光パワーの変化によって大きく変化する。これらの図は、双方向から各々100mWの励起光を供給するEDFAを用いた測定結果であるが、入力信号光パワーが-12dBm/chの場合の測定結果である図38に比べて、入力信号光パワーが-27dBm/chの場合の測定結果である図39の方がASEパワー成分が高くなっていることが判る。これは、励起光源からEDF等の増幅媒体に供給されたパワーのうち、信号光の増幅に用いられなかった残りのパワーがASE中に貯えられたエネルギーの増幅に用いられることによって、用いられなかった残りのエネルギーがASEとなるためである。

20

【0091】信号とノイズ成分であるASEの比をS/N比と定義すると、図38, 39に示したように入力信号光パワーが低いほどS/N比は小さくなり、その結果、信号とASE成分との切り分けは困難となる。なお、ASE成分は入力条件によっては信号光パワーよりも、ASEのパワーが大きくなる状態も有り得る。

【0092】通常、光ファイバ増幅器に入力される、増幅すべき入力信号光のパワーは低く、上述の通り低いパワーの信号光がEDFAに入力されると、ASE成分は高くなる。従って、光ファイバ増幅器から得られる出力は、信号光成分とハイパワーのASEから成り、場合によっては、信号光パワーよりも、ASEのパワーが大きくなる動作状態もある。

30

【0093】このような状態の出力信号光を正確に把握するためには、出力信号光とASE成分を分離する必要があり、光ファイバ増幅器の出力光全体のパワーをモニタするだけでは不十分である。

40

【0094】その為に、上述の従来手法でEDFAの利得平坦化を実現するためには、利得平坦性を認識するための出力信号光パワーのモニタ手段として、出力スペクトルをモニタするなどの、出力信号光とASE成分を分離する機能を必要としたり、直接信号成分だけはモニタできないので、ASE成分から出力信号光を推定するなど間接的な方法が用いられてきた。この点を改善したものが、図40にその構成を示した第9の実施例である。

【0095】図41はこの実施例を利用した光伝送システムの該略図であり、この第9の実施例を適用した光ファイバ増幅器20の上流には、複数の信号光を予め定められた偏差の範囲内(及びS/N比の範囲内)に補償する利得偏差等化手段40が光ファイバ伝送路50によって接続されている。なお、この利得偏差等化手段40は、例えば本願明細書の各実施例で説明されている光フ

50

19  
アイバ增幅器を適用した中継局や、あるいは異なる波長の複数の信号光の出力パワーを個別に制御することによって利得偏差を抑圧することができる送信局等で実現することができる。

【0096】そしてこの実施例の光ファイバ增幅器は、異なる波長の複数の信号光を増幅して出力することができる、第1の光ファイバ増幅部であるプリアンプ31と、第2の光ファイバ増幅部であるブースタアンプ32とが順に接続されて、2段増幅を行う構成となっている。なお、このプリアンプ31とブースタアンプ32は共にEDFAである。

【0097】このプリアンプ31とブースタアンプ32の中段には、制御信号に基づいて減衰量が可変可能な可変光減衰器である可変光アッティネータ19が、このプリアンプ31の出力光を減衰する目的で設けられている。この可変光アッティネータ19の減衰量の振り幅は、プリアンプ31に入力される入力信号光パワーの入力ダイナミックレンジにほぼ対応しており、この光ファイバ增幅器の動作条件は、この入力信号光パワーが想定される最小パワーのとき、可変光アッティネータ19の減衰量が最も低くなるように、設計されている。

【0098】さらに、このブースタアンプ32の後段には、ブースタアンプ32の出力光の一部を光カプラで（所定の割合で）抽出しPDでそのパワーを検出する、出力光パワー検出手段34が設けられている。なお、この図中には明示されていないが、ブースタアンプ32の出力側には、上記複数の信号光の帯域を透過させるバンドパスフィルタが設けられており、出力光パワー検出手段34ではこの複数の信号光の帯域の出力光パワーが検出される。

【0099】この出力光パワー検出手段34で検出された出力光パワーの情報は制御回路33に伝えられる。この制御回路33では、この出力光パワーの情報に基づいて、上記可変光アッティネータ19の制御信号が生成される。

【0100】次に、この光ファイバ增幅器の動作を説明する。まず、光ファイバ伝送路50の上流に接続された利得偏差等化手段40から、予め定められた偏差の範囲内（及びS/N比の範囲内）に補償された複数の信号光が、プリアンプ31に入力される。そしてプリアンプ31によって約20dB～30dB（100～1000倍）に増幅されて出力される。

【0101】この時プリアンプ31に入力される入力信号光パワーは比較的低いものなので、図38、39を用いて説明した入力信号光パワーとASEパワーの関係に示す通り、プリアンプ31の出力光における、信号光とASEのパワーの差は余りなく、信号光成分とASE成分との分離は困難である。

【0102】そして、このプリアンプ31からの出力光は可変光アッティネータ19を介して、ブースタアンプ

32に入力される。このブースタアンプ32に入力された信号光は、プリアンプ31の場合と同様に増幅されるが、プリアンプ31と異なり入力信号光パワーのレベルが十分な大きさになっているので、ブースタアンプ32の出力光におけるASE成分は、上述の通り低くなり、信号光パワーに対して、ASEパワーのレベルは無視できる程度に軽減できる。

【0103】出力光パワー全体に占めるASEパワーのレベルが無視できる程度に低減できた出力光は、出力光パワー検出手段34で出力光パワーが検出され、検出結果は制御回路33に送られる。

【0104】制御回路33では、この検出された出力光パワーが、光ファイバ增幅器内で利得偏差が生じない動作条件となる目標値に対して一定の範囲内に収まるように、制御信号によって可変光アッティネータ19の減衰量を制御する。基本的に、可変光アッティネータ19の減衰量が大きくなれば、出力光パワーは小さくなり、減衰量が小さくなれば出力光パワーは大きくなる関係を有するので、この制御回路33による可変光アッティネータ19の制御は、フィードバック制御によって容易に達成することが可能である。

【0105】利得偏差の検出には、光ファイバ增幅器に出力光に占める信号光パワー成分を正確に把握する必要がある。この実施例では、可変光アッティネータ19の前にプリアンプ31を設け、光ファイバ增幅器を2段構成とすることにより、光ファイバ增幅器の出力光に占めるASE成分を信号光に対して無視できる程度まで低減できるので、ブースタアンプ32通過後の出力パワーは、信号光成分が支配的となり、出力信号光とASEを分離する機能を有しなくとも、信号光成分のみモニタすることが可能となり、簡潔な構成で利得平坦化を達成することが出来る。そして、プリアンプ31の利得をG1、雑音指数をNF1、同様にブースタアンプ32の利得をG2、雑音指数をNF2とし、可変光アッティネータ19の減衰量をLとすると、この光ファイバ增幅器全体の雑音指数N<sub>total</sub>は、 $N_{total} = NF1 + NF2 / (G1 - L)$ と表すことができる。よって、この式から明らかなように、このような構成とすれば、光ファイバ增幅器としての出力低下を抑えることが可能となる。

【0106】しかも、可変光アッティネータ19は、光ファイバ增幅器内で利得偏差が生じない動作条件と直接的な関係を有する出力光パワーに基づいて制御されるため、EDFなど温度依存性の強い光部品を用いた場合の、環境温度の変化に対する動作補償の機能も有することになる。

【0107】（第10の実施例）図42に、第10の実施例の構成を示す。この光ファイバ增幅器は、一般的なEDFAからなるプリアンプ31とブースタアンプ32とが順に接続されて、2段増幅を行う構成となっている。このプリアンプ31とブースタアンプ32の中段には、制

御信号に基づいて減衰量が可変可能な可変光アッティネータ19が設けられている。この可変光アッティネータ19の減衰量の振り幅は、プリアンプ31に入力される入力信号光パワーの入力ダイナミックレンジにほぼ対応しており、この光ファイバ增幅器の動作条件は、この入力信号光パワーが想定される最小パワーのとき、可変光アッティネータ19の減衰量が最も低くなるように、設計されている。

【0108】さらに、このプリアンプ31の前段には、プリアンプ31に入力される入力信号光の一部を光カプラーで（所定の割合で）抽出しPDでその信号光パワーを検出する、入力光パワー検出手段35が設けられている。また、この光ファイバ增幅器には、プリアンプ31とブースタアンプ32のEDFの環境温度を測定するための、温度検出装置9が設けられている。

【0109】この入力光パワー検出手段35で検出された入力信号光パワーの情報と、温度検出装置9で検出された環境温度の情報は、メモリに格納されたパラメーターテーブル12を有する制御回路33に伝えられる。

【0110】このパラメーターテーブル12は、図43に示されるように、入力信号光パワーと環境温度の両条件の変化に対応したマトリクスを有しており、各条件の場合に利得偏差が最小化するような可変光アッティネータ19の減衰量が定義されている。なお、この図43において、Pinが入力信号光パワー、TがEDFの環境温度そしてATT減衰量は可変光アッティネータ19の減衰量を表しており、利得偏差が1dB程度に納まるような制御を行うことを意図している。いる。そして、この制御回路33は、検出された入力信号光パワーと環境温度に基づいて、パラメーターテーブル12を参照し、最適な可変光アッティネータ19の減衰量を決定し、対応する制御信号を可変光アッティネータ19に送出する。

【0111】このパラメーターテーブル12による減衰量の制御の概念を表に示したものが図44である。この図44から明らかなように、この実施例の光ファイバ增幅器では、環境温度に対して可変光アッティネータの減衰量は、入力ダイナミックレンジの振り幅を保つつ、常温（25°C）を中心に温度が増加した場合には減衰量を減らす方向にシフトさせ、温度が低下した場合には減衰量を増やす方向にシフトさせる。

【0112】第9の実施例と同様に、このような構成の光ファイバ增幅器に、利得偏差等化手段によって予め定められた偏差の範囲内（及びS/N比の範囲内）に補償された複数の信号光を、伝送路を経由して入力することによって、光ファイバ增幅器の出力信号光の利得偏位を、防止あるいは光伝送システムにとって許容できる範囲に抑えることが可能となる。

【0113】この実施例の構成によると、入力光パワー検出手段35で検出される信号光パワーは、厳密には伝送路を経由した減衰された信号とノイズ成分を合わせた

ものであるが、上記の通り利得偏差等化手段を経由しているので、信号とノイズ成分の比であるS/N比は十分得られている。よって、ノイズ成分であるASEは低く抑制され、信号光成分に対して十分に無視できる程度となるので、信号光とASE成分は分離する必要がない。従って、予め光ファイバ增幅器単体で評価した場合の動作によって作成された、図43に示したようなパラメーターテーブルを用いても、利得偏差の補償には実用上問題ない。

10 【0114】このような構成とすれば、極めて単純な構成の入力信号光パワー検出部であっても、光ファイバ增幅器としてのNF劣化や、出力低下を抑えるながら、利得偏差の補償を行うことが可能となる。

【0115】また、この実施例では、温度検出装置9によってプリアンプ31とブースタアンプ32のEDFの環境温度を測定しているが、第4の実施例と同様に温度制御手段18によって、環境温度を所定の条件に固定する図45に示したような構成も考えられる。さらに、例えば5°C刻みに作成しておき、温度制御手段18で測定されたEDFの環境温度を、パラメーターテーブルの最も近接している環境温度となるよう、冷却あるいは加熱するような構成としてもよい。

【0116】（第11の実施例）図46にこの発明の第11の実施例の構成を示す。

【0117】この実施例と、第9の実施例との相違点は、出力光パワー検出手段34にあり、この第11の実施例の出力光パワー検出手段34には、チャネルモニタ36が設けられている。このチャネルモニタ36を設けたことで、出力信号光の利得偏差が直接検出することが可能となる。

【0118】そして、制御回路33では、出力光パワーを予め定められた値にするのではなく、検出された利得偏差を抑制するために最適な減衰量が算出され、この算出結果に対応した制御信号が、可変光アッティネータ19に伝達される。

【0119】この最適な減衰量の算出は、以下の手順で行われる。

【0120】チャネルモニタ36は、特定の波長とその波長におけるパワーを測定することが可能である。その為、複数の信号光各々の信号光パワーを測定できる。そして、信号光パワーが最大のものから、信号光パワーが最低のものを差し引く事で、利得偏差を把握することができる。

【0121】光ファイバ增幅器では、入力信号光パワー上昇による利得偏差の傾向と、環境温度低下による利得偏差の傾向がほぼ同様となっている。励起光パワーが一定条件の下では、入力信号光パワーが上昇すると長波長側の出力信号パワーよりも短波長側の出力信号光パワーが低下し、また、温度が低下すると、同様に長波長側の出力信号パワーよりも短波長側の出力信号光パワーが低

50

下する。

【0122】そして、このようにして生じた短波長側の出力信号光パワーが低くなる利得偏差は、いずれも可変光アッティネータ19の減衰量を増加させる事で抑圧することができる。逆に、長波長側の出力信号光パワーよりも短波長側の出力信号光パワーが高くなる利得偏差は、可変光アッティネータ19の減衰量を減少させる事で抑圧することができる。

【0123】従って、チャネルモニタ36でモニタする二つの信号光について、長波長側の信号光を $\lambda_2$ 、短波長側の信号光を $\lambda_1$ 、各々の出力信号光パワーを $P_{\lambda_2}$ 及び $P_{\lambda_1}$ とすると、長波長側の出力信号光パワーを基準として $(P_{\lambda_1} - P_{\lambda_2})$ を計算し、この値がプラスであれば減衰量を減少させ、マイナスであれば減衰量を増加させる。以上説明した制御方法を整理すると、図47に示した通りとなる。

【0124】この実施例の增幅動作は第9の実施例と同様であるが、チャネルモニタ36を設けたことで利得偏差が直接検出でき、制御回路33では外部要因である入力信号光パワーやEDFの環境温度に係わらず、利得偏差を抑圧するように可変光アッティネータ19の減衰量を制御することが可能となる。

【0125】しかも、可変光アッティネータ19は2段構成の光ファイバ增幅器の中間に設けられているため、光ファイバ増幅器としてのNF劣化や、出力低下は招かない。そして、ブースタアンプ32通過後の出力パワーは、信号光に対してASE成分が無視できる程度まで低減され、信号光成分が支配的となる。従って、出力光パワー検出手段における検出に際して雑音成分が信号光に及ぼす影響が、従来方式に比べて少なくなり、より正確な出力パワーの検出が可能となる。

【0126】この第9～11の実施例では、EDFAを用いた光ファイバ増幅器に関して説明しているが、この発明は、同様の增幅特性を有する他の希土類元素を添加した光ファイバ増幅器にも、適用することができる。また、出力信号検出部や入力信号光パワー検出部の構成に関しても実施例で示した構成は一例であり、複数個のPDやチャネルモニタを含む構成でもよい。更に、これらの光ファイバ増幅器を多段接続した形態も容易に実現することができる。

【0127】また、第9の実施例の出力光パワー検出手段34では、出力光パワー全体を一括して検出し、この値が所定の値となるように制御しているが、厳密には複数の信号光各々のパワーを所定の値と比較して制御すべきである。

【0128】しかしながら、第9の実施例の光ファイバ増幅器は、所定の動作条件下で增幅動作を行っている場合には、この複数の信号光に対する增幅利得がほぼ等しくなっている。そしてこの光ファイバ増幅器には、利得偏差等化手段40から光ファイバ伝送路50を通じて、

予め定められた偏差の範囲内の複数の信号光が供給される構成となっている。よって、ブースタアンプ32から出力される複数の信号光のパワーは実質的に同一と見なすことができる。

【0129】このような特性があるので、この実施例では、演算処理を簡略化する目的で、検出された出力光パワー全体を所定の値と比較する構成としている。そして同様の理由で、複数の信号光各々のパワーを所定の値と比較して制御する構成の場合は、各信号光毎のパワーは、検出された出力光パワーを複数の信号光の数で割ることによって、容易に求めることができる。このような演算処理を簡略化は、第10の実施例でも行なわれており、検出された入力光パワーを複数の信号光の数で割った値に基づいて制御信号を生成する構成としてもよい。

【0130】更にこの第9の実施例に示された発明は、信号数（チャネル数）が変動するような光伝送システムにも適用することが可能である。その場合、出力光パワー検出手段34で、現在入力されているチャネル数を把握し、このチャネル数に応じて励起光源から供給されるパワーを変更する必要がある。例えば、最大チャネル数がNチャネルで、この時励起光源からの供給されるパワーを $P_{max}$ としたとき、現在入力されているチャネル数が $k$ チャネルの場合、励起光源から供給するパワーを、 $P_{max} \times (k/N)$ に変更する。そして、上述の通り、検出された出力光パワーをチャネル数 $k$ で割り、各チャネル毎の信号光パワーが所定の値となっているかどうか比較を行なえばよい。同様に、第10及び第11の実施例に示された発明も、チャネル数が変動するような光伝送システムに適用することが可能である。

【0131】また、この第9～第11の実施例に示した発明は、上述の通りL-band、C-band共に適用可能であるが、各々の特性に合わせて、構成を変更することも可能である。例えば、C-bandの場合、ブースタアンプの前に等化フィルタを設けてもよい。更に、第10の実施例に関して、C-bandの場合はL-bandの比べて温度に依存した利得の偏位が少ないので、入力信号光のみを基準にした制御を行っても、実質的に支障が発生しない場合もある。

### 【0132】

【発明の効果】以上詳細に説明したように、この発明によれば、長波長帯で增幅動作を行うエルビウムドープ光ファイバでは、前方励起光による增幅と後方励起光による增幅の波長依存性出力の傾きの傾向が異なっていることに着目し、入力信号光パワーとエルビウムドープ光ファイバの環境温度等に起因する利得偏差の変動に対応して励起光源の出力パワーを制御することで、簡潔な構成で幅広い動作条件下における効果的な利得偏差の補償が実現できる。

【0133】また、EDF等を用いた光ファイバ増幅器にとって、励起光パワー減少と信号パワー増加が等価な関

係にあり、逆に励起パワー増加と信号パワー減少は等価な関係にある。従って、光ファイバ増幅器に対する制御において、光ファイバ増幅器へ供給する励起光パワーを増加させる代わりに、入力信号光パワーを減衰させることによって、同等の制御を行うことができる。

【0134】そこで、2段構成の光ファイバ増幅器の中に可変光減衰器を設け、減衰量を制御することで、最適な動作条件を維持させることができると、簡潔な構成で、光ファイバ増幅器としての出力低下を抑えつつ、利得偏差の抑圧を行うことができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】第1の実施例の、双方向励起方式のL-band E DFAの構成を示した図である。

【図2】L-band E DFAの波長依存性利得偏差を示した図である。

【図3】図2のL-band E DFAに関して、他の条件は同一で、入力信号光のパワー  $P_{in}$  が-12 dBm/c h の利得偏差の変化を示した図である。入力パワー  $P_{in}$  が-24 dBm/c h

【図4】図2のL-band E DFAに関して、他の条件は同一で、入力信号光のパワー  $P_{in}$  が-15 dBm/c h の利得偏差の変化を示した図である。

【図5】図2のL-band E DFAに関して、他の条件は同一で、入力信号光のパワー  $P_{in}$  が-18 dBm/c h の利得偏差の変化を示した図である。

【図6】図2のL-band E DFAに関して、他の条件は同一で、入力信号光のパワー  $P_{in}$  が-21 dBm/c h の利得偏差の変化を示した図である。

【図7】図2のL-band E DFAに関して、他の条件は同一で、入力信号光のパワー  $P_{in}$  が-24 dBm/c h の利得偏差の変化を示した図である。

【図8】図2～図7の測定に用いたのと同一のEDFに関しての、特定の励起光パワーアー下における、温度変化と利得偏差の変化との関係を示した図である。

【図9】図2～図7の測定に用いたのと同一のEDFに関しての、特定の励起光パワーアー下における、温度変化と利得偏差の変化との関係を示した図である。

【図10】図2～図7の測定に用いたのと同一のEDFに関しての、特定の励起光パワーアー下における、温度変化と利得偏差の変化との関係を示した図である。

【図11】図2～図7の測定に用いたのと同一のEDFに関しての、特定の励起光パワーアー下における、温度変化と利得偏差の変化との関係を示した図である。

【図12】L-band E DFAの、入力信号光の入力パワーと利得偏差との関係を示した図である。

【図13】L-band E DFAの、入力信号光の入力パワーと利得偏差との関係を示した図である。

【図14】L-band E DFAの、入力信号光の入力パワーと利得偏差との関係を示した図である。

【図15】上記図12に対応させて、入力パワー  $P_{in}$

が-12 dBm/c h、前方励起側の励起光パワー100 mWの場合に、後方励起側の励起光パワーを調整した結果を表した図である。

【図16】上記図13に対応させて、入力パワー  $P_{in}$  が-18 dBm/c h、前方励起側の励起光パワー100 mWの場合に、後方励起側の励起光パワーを調整した結果を表した図である。

【図17】上記図14に対応させて、入力パワー  $P_{in}$  が-24 dBm/c h、前方励起側の励起光パワー100 mWの場合に、後方励起側の励起光パワーを調整した結果を表した図である。

【図18】入力光パワーが-15 dBm/c hの場合について、環境温度の変化に対応させて後方励起側の励起光パワーを適宜調整した結果を表した図である。

【図19】入力光パワーが-18 dBm/c hの場合について、環境温度の変化に対応させて後方励起側の励起光パワーを適宜調整した結果を表した図である。

【図20】入力光パワーが-21 dBm/c hの場合について、環境温度の変化に対応させて後方励起側の励起光パワーを適宜調整した結果を表した図である。

【図21】入力光パワーが-24 dBm/c hの場合について、環境温度の変化に対応させて後方励起側の励起光パワーを適宜調整した結果を表した図である。

【図22】第1の実施例のパラメータテーブル12の構成を示した図である。

【図23】第2の実施例の、双方向励起方式のL-band E DFAの構成を示した図である。

【図24】第3の実施例の、双方向励起方式のL-band E DFAの構成を示した図である。

【図25】第4の実施例の、双方向励起方式のL-band E DFAの構成を示した図である。

【図26】第4の実施例のパラメータテーブル12の構成を示した図である。

【図27】第5の実施例の、双方向励起方式のL-band E DFAの構成を示した図である。

【図28】第6の実施例の、双方向励起方式のL-band E DFAの構成を示した図である。

【図29】第7の実施例において出力パワーを検出すべき、出力光中の2点に関して例示した図である。

【図30】第7の実施例の、双方向励起方式のL-band E DFAの構成を示した図である。

【図31】第7の実施例の出力光偏差検出手段Aを、ビームスプリッタによって各波長の信号成分を2分岐し、他にも出力モニタを有する構成とした構成図である。

【図32】第7の実施例の出力光偏差検出手段Aを、光カプラによって2分岐し、更にバンドパスフィルタ(BPF)で各波長の信号成分を分岐する構成とした構成図である。

【図33】第7の実施例の出力光偏差検出手段Aを、信号の進行方向に対し、直列に波長選択性のある光カプラ

か、波長選択性の有するPDによって各波長の信号成分を分岐する構成とした構成図である。

【図34】第7の実施例の出力光偏差検出手段Aを、受光器にPDを用いずにチャネルモニタなどの何らかの出力モニタを設ける構成とした構成図である。

【図35】第7の実施例の出力光偏差検出手段Aを、波長選択性の有するPDを直に受光器として用いる構成とした構成図である。

【図36】第8の実施例の、双方向励起方式のL-band EDFAの構成を示した図である。

【図37】各温度条件に応じて利得偏差が、1 dB以下になるように後方励起側の励起光パワーを制御した後の、温度に対する出力パワーの関係を示した図である。

【図38】双方向から各々100mWの励起光を供給するEDFAに、入力信号光パワーが-12dBm/chの信号光を供給した場合の測定結果を示した図である。

【図39】双方向から各々100mWの励起光を供給するEDFAに、入力信号光パワーが-27dBm/chの信号光を供給した場合の測定結果を示した図である。

【図40】第9の実施例の、光ファイバ増幅器の構成を示した図である。

【図41】第9の実施例を利用した光伝送システムの該略図である。

【図42】第10の実施例の、光ファイバ増幅器の構成を示した図である。

【図43】第10の実施例のパラメータテーブル12の構成を示した図である。

【図44】第10の実施例の、パラメータテーブル12による減衰量の制御の概念を表に示したものである。

【図45】第10の実施例の温度検出装置9を温度制御手段18に変更した構成を示した図である。

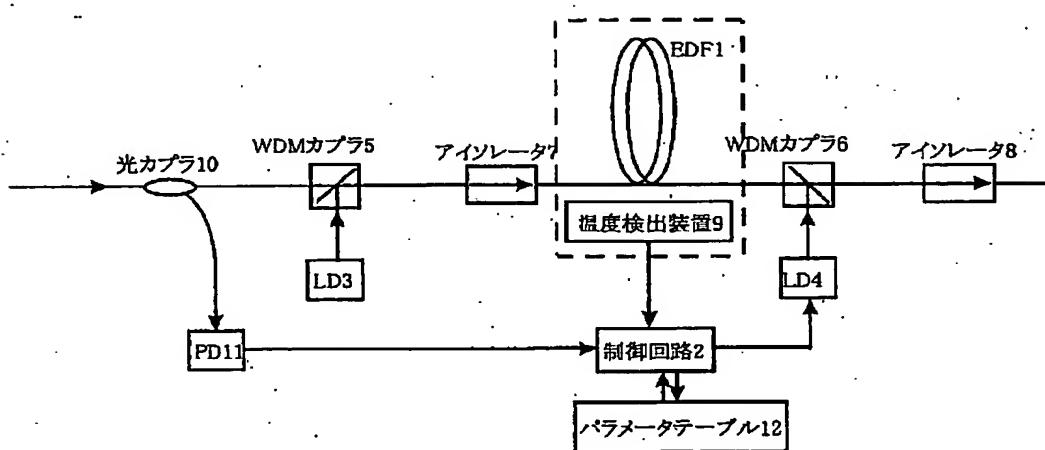
【図46】第11の実施例の、光ファイバ増幅器の構成を示した図である。

【図47】第11の実施例における制御回路33の制御方法を示した図である。

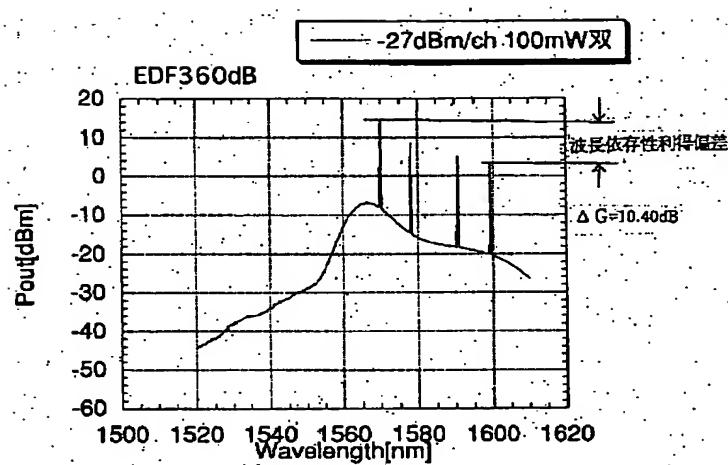
【符号の説明】

1	EDF
2, 23, 33	制御回路
10	3 前方励起光源
	4 後方励起光源
	5, 6 WDMカプラ
	7, 8 アイソレータ
	9 温度検出装置
10	10, 13, 15a, 15b, 21 光カプラ
	11, 14, 17a, 17b, 22 ホトダイオード
	12 パラメータテーブル
	16a, 16b, 24 バンドパスフィルタ
	18 温度制御手段
20	19 可変光アッティネータ
	20 光ファイバ増幅器
	31 プリアンプ
	32 ブースタアンプ
	34 出力光パワー検出手段
	35 入力光パワー検出手段
	36 チャネルモニタ
	40 利得偏差等化手段
	50 光ファイバ伝送路

【図1】



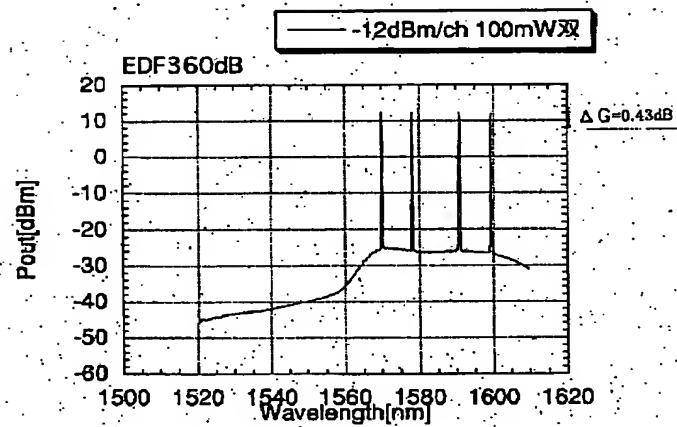
【図2】



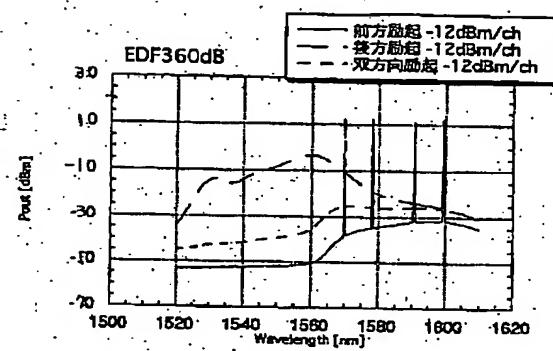
【図26】

温度条件[°C]		T=25	
Pin[dBm/ch]	P <sub>pump(f)</sub> [mW]	P <sub>pump(b)</sub> [mW]	
-15	100	75	
-18	100	37	
-21	100	19	
-24	100	11	
-27	100	8	

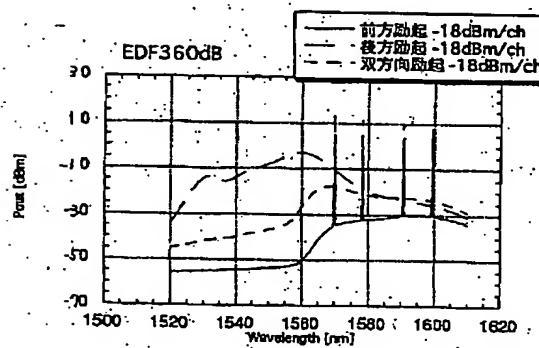
【図3】



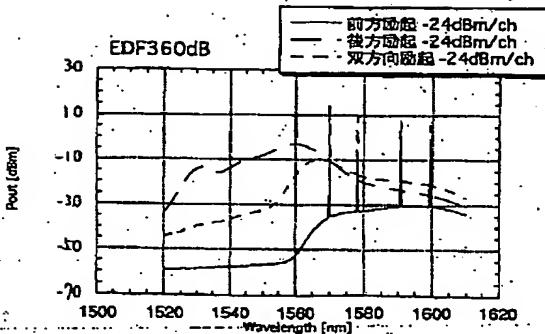
【図12】



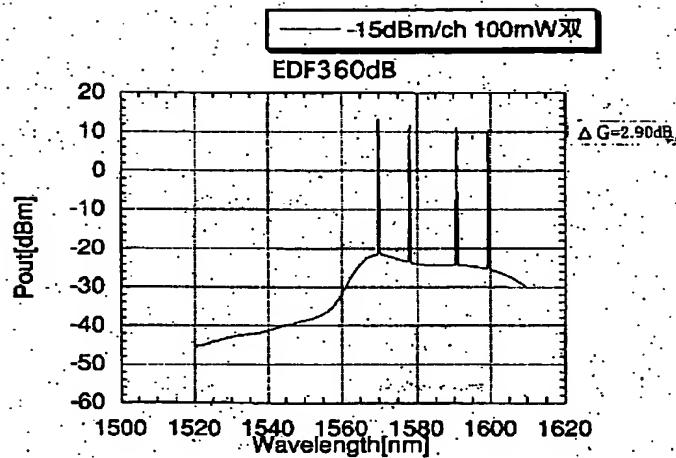
【図13】



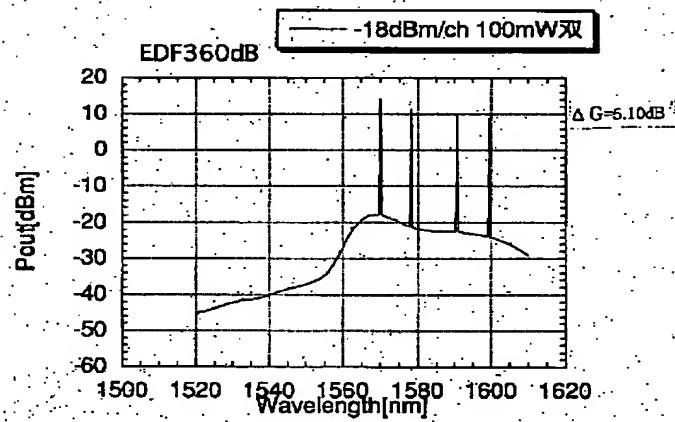
【図14】



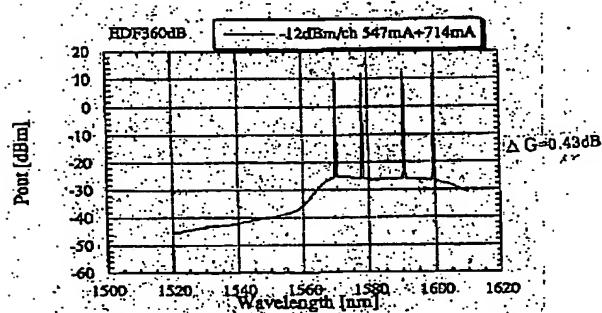
【図4】



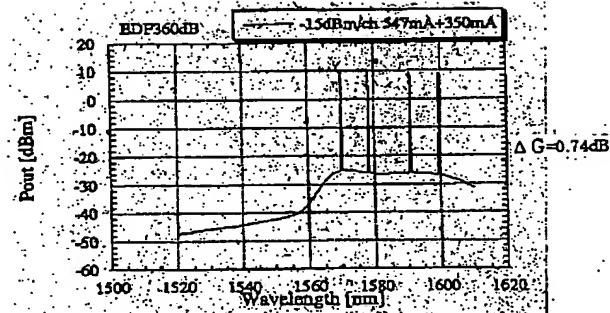
【図5】



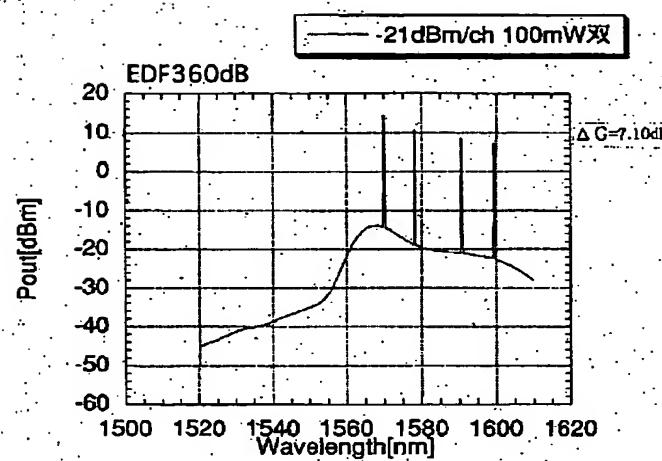
【図15】



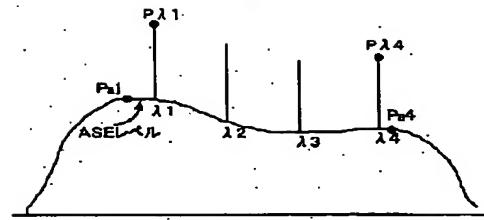
【図16】



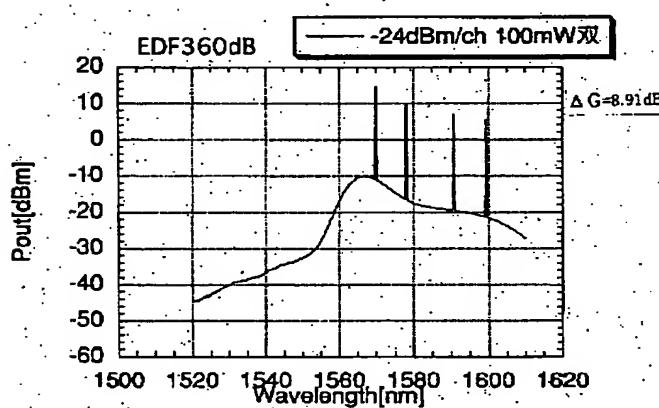
【図6】



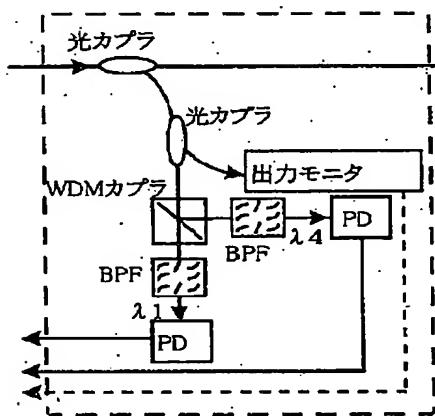
【図29】



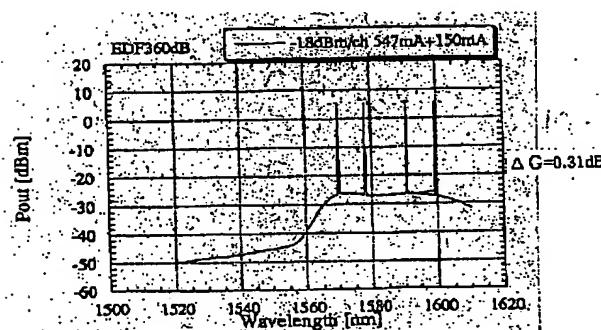
【図7】



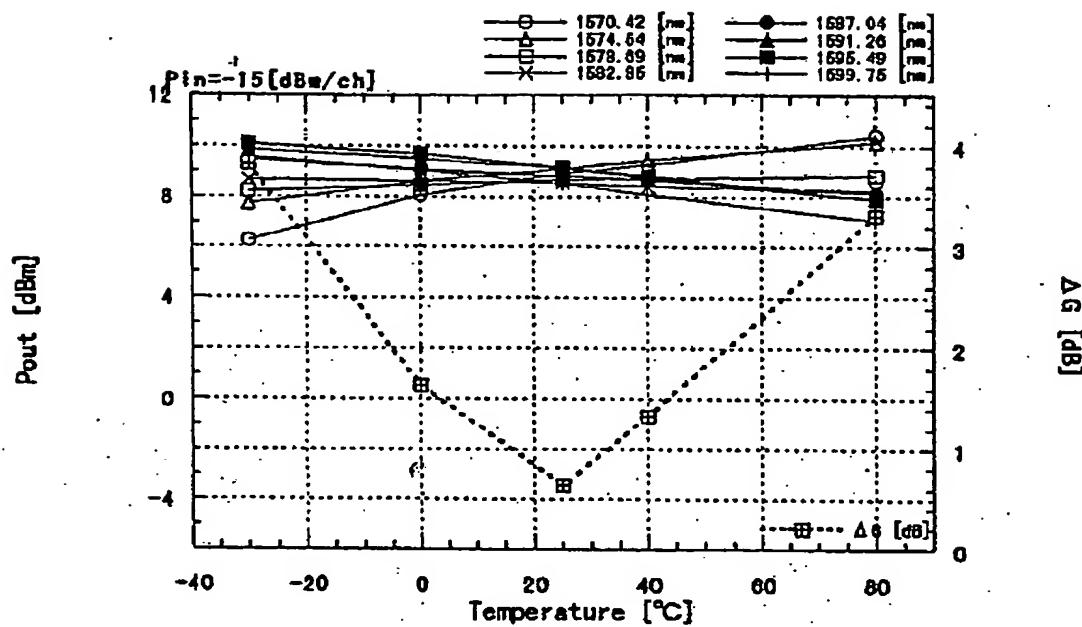
【図31】



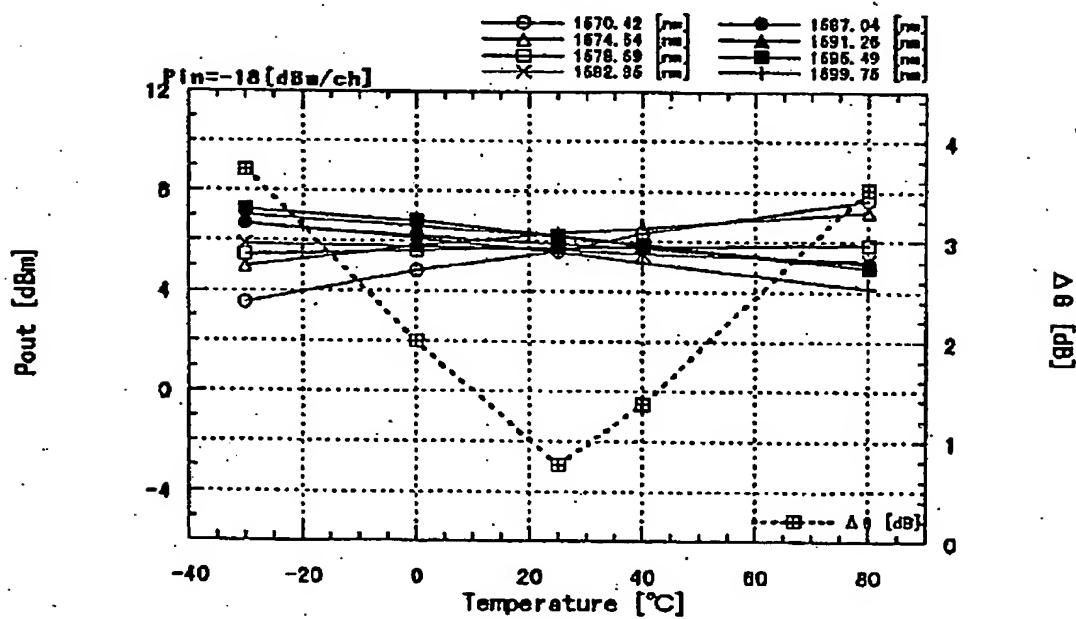
【図17】



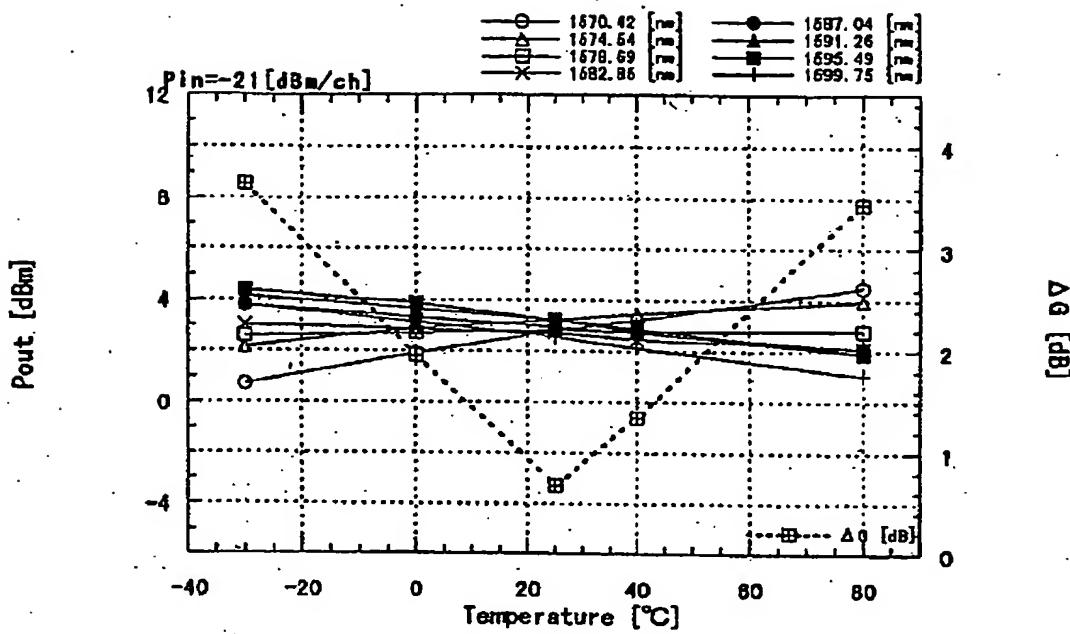
【図8】



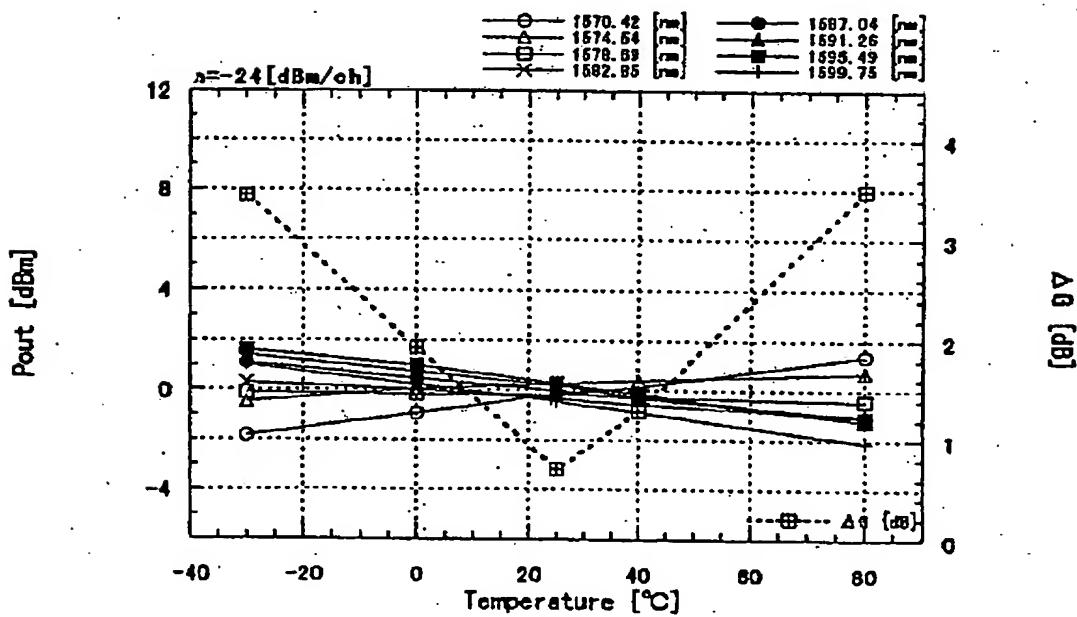
【図9】



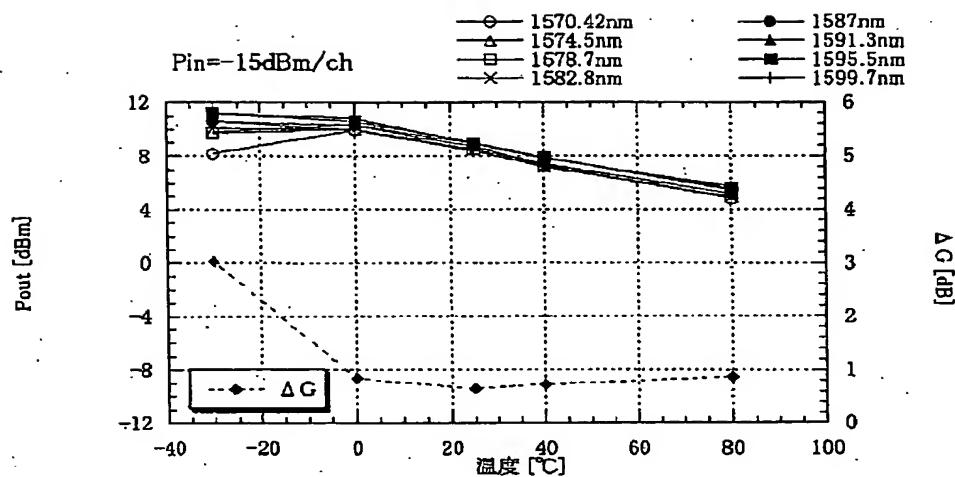
【図10】



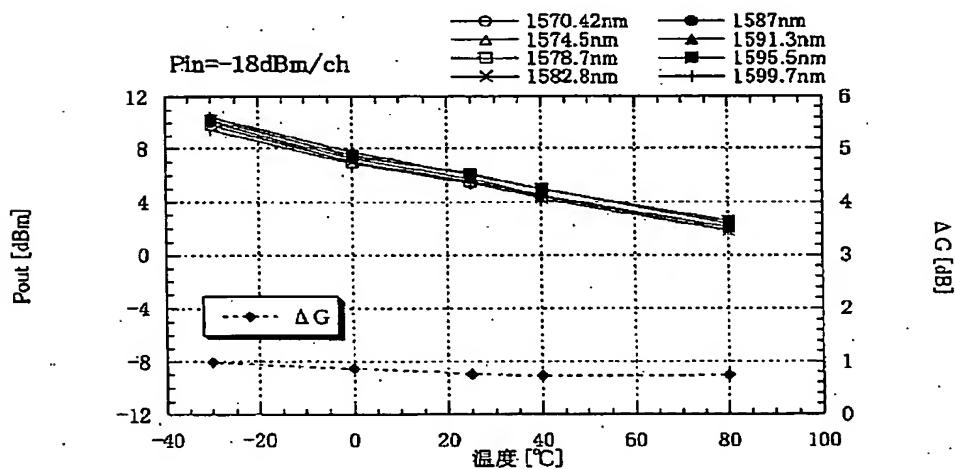
【図11】



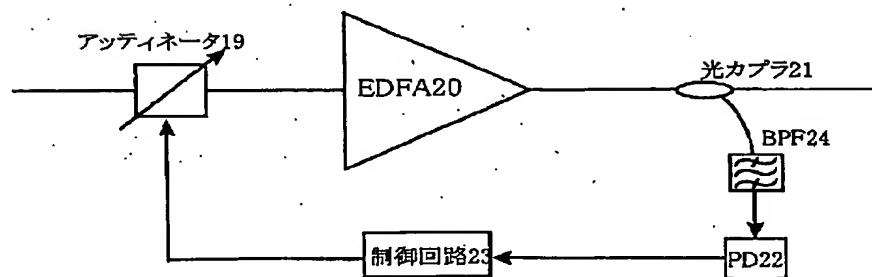
【図18】



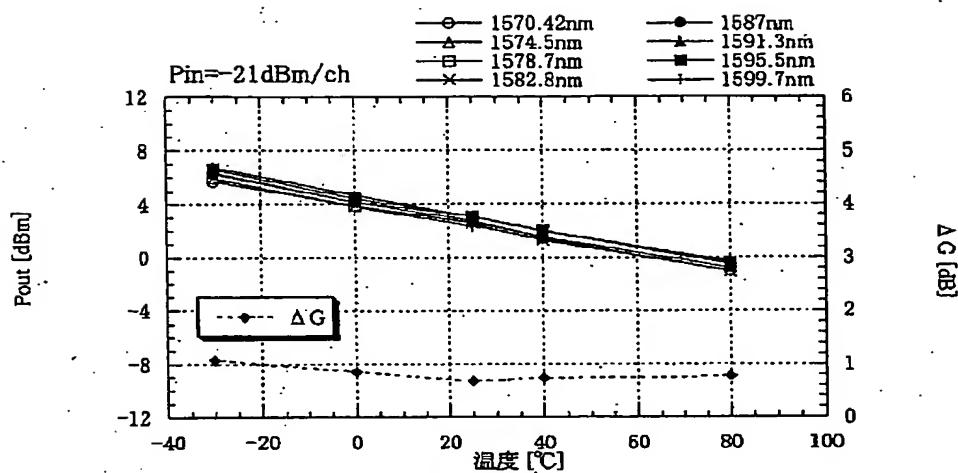
【図19】



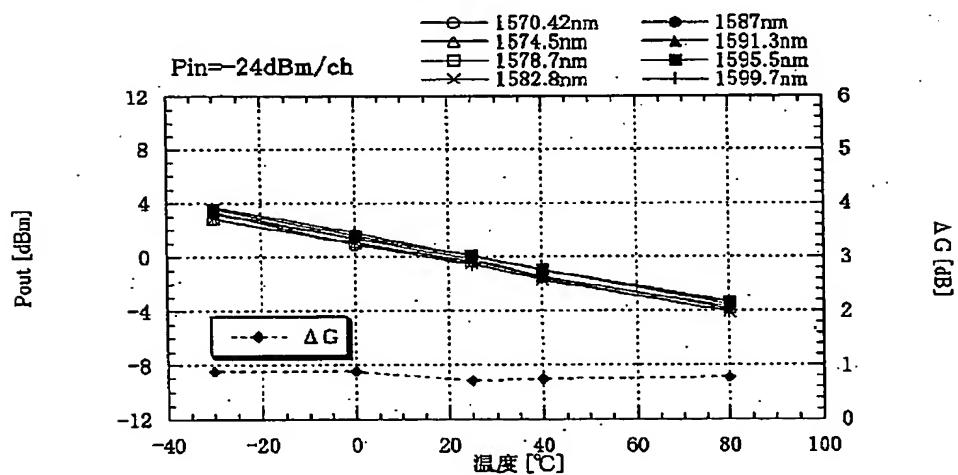
【図36】



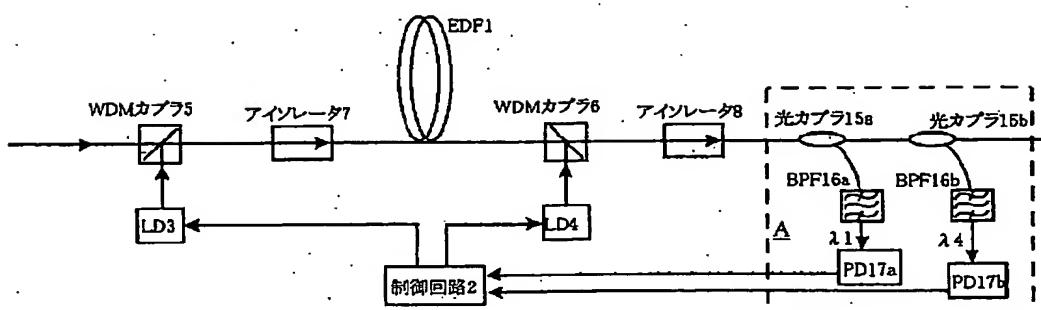
【図20】



【図21】



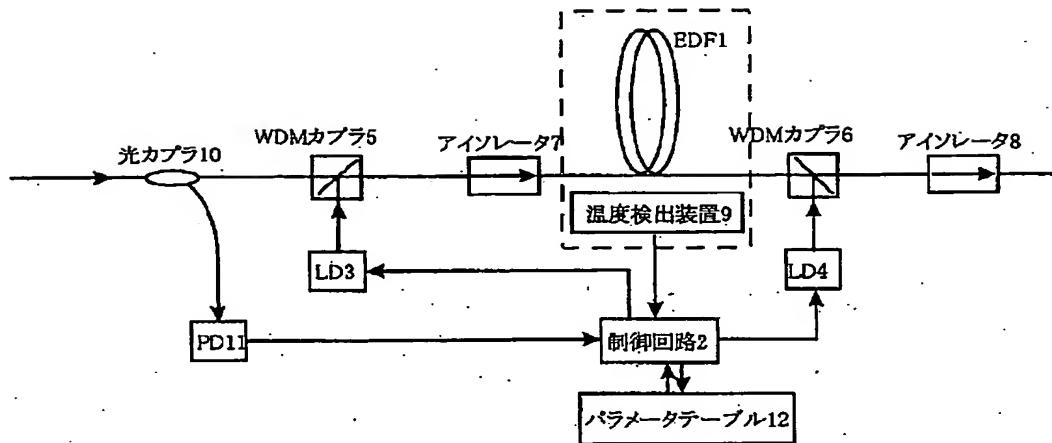
【図30】



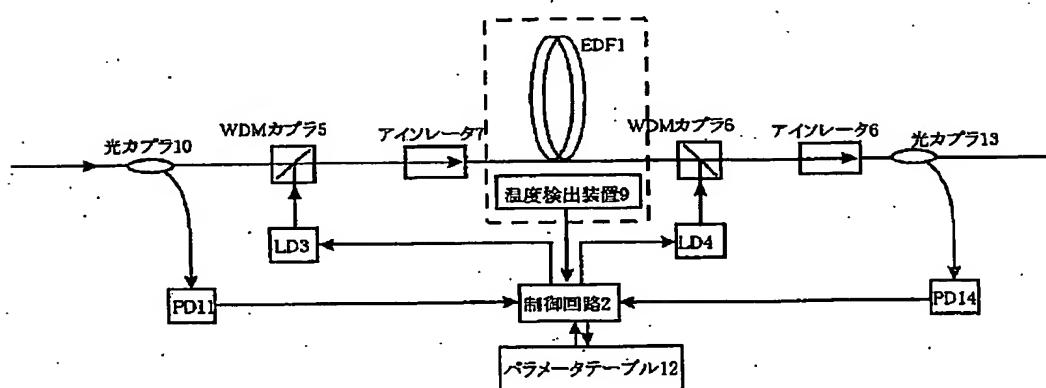
【図22】

温度条件[℃]	T=30			T=0			T=25			T=40			T=80		
	P <sub>in</sub> [dBm/ch]	P <sub>pump(f)</sub> [mW]	P <sub>pump(b)</sub> [mW]	P <sub>pump(f)</sub> [mW]											
-16	100	120	100	115	100	75	100	55	100	55	100	26	100	26	26
-8	100	119	100	56	100	37	100	26	100	26	100	12	100	12	12
-2	100	47	100	27	100	19	100	14	100	14	100	7	100	7	7
-24	100	25	100	16	100	11	100	9	100	9	100	6	100	6	6
-27	100	18	100	10	100	8	100	7	100	7	100	5	100	5	5

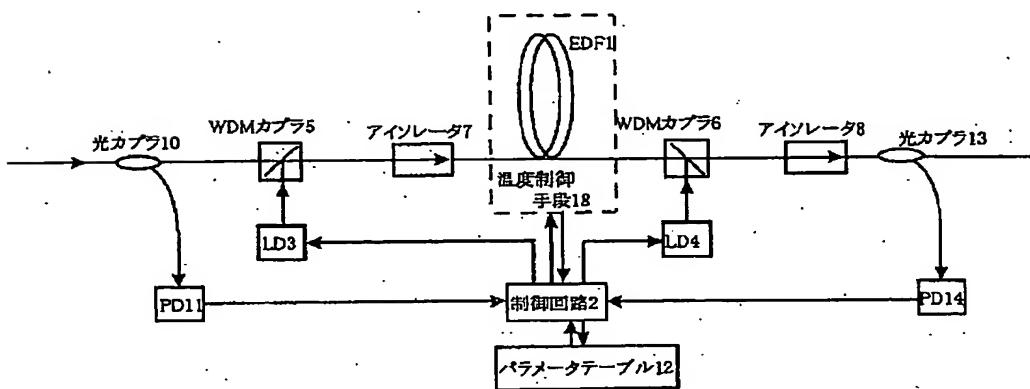
【図23】



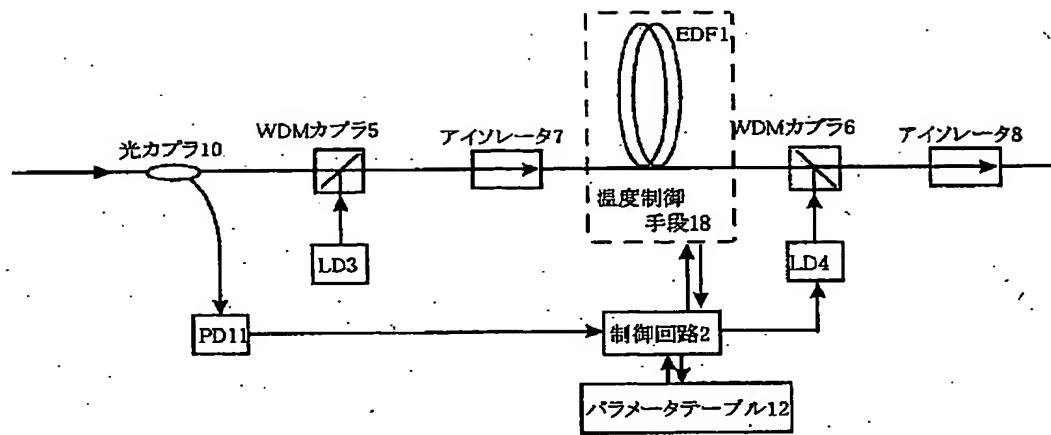
【図24】



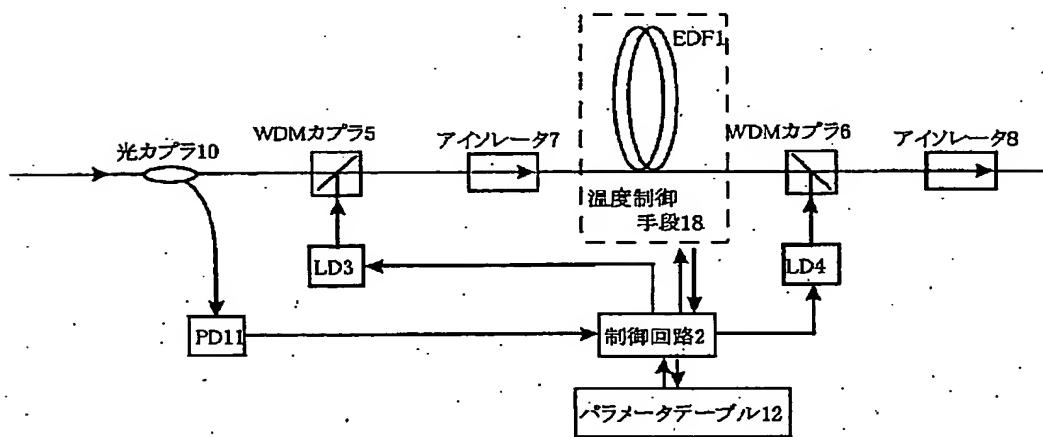
【図28】



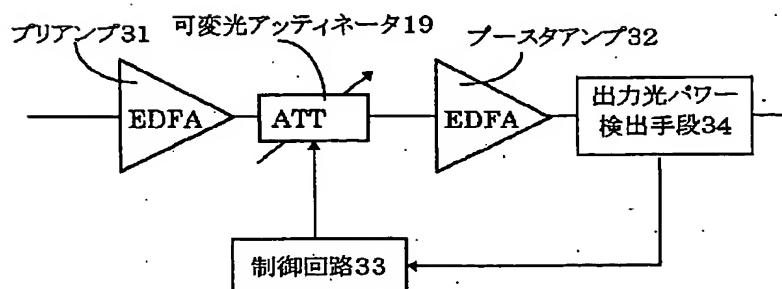
【図25】



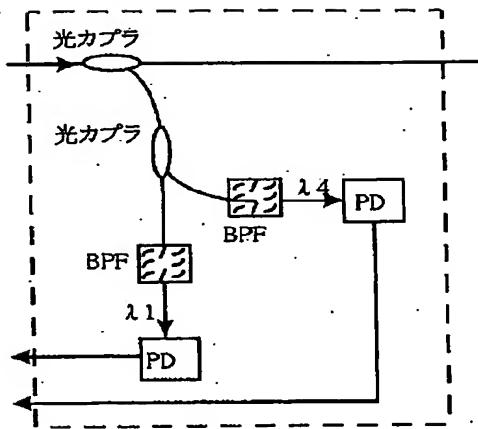
【図27】



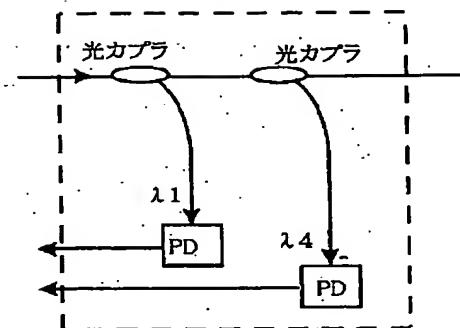
【図40】



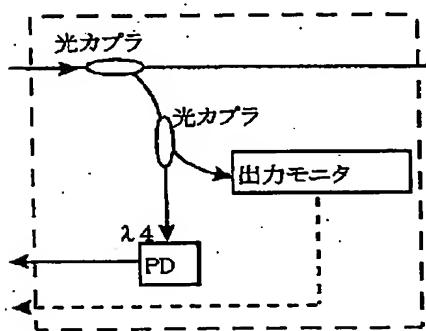
【図32】



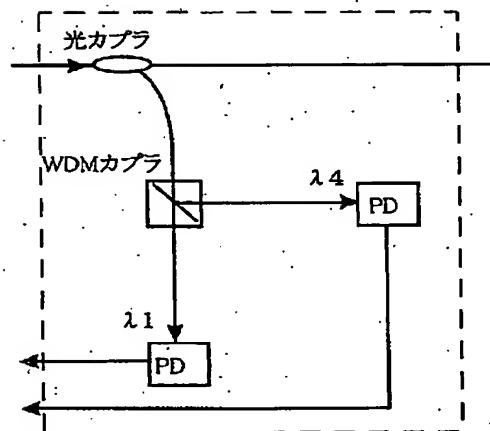
【図33】



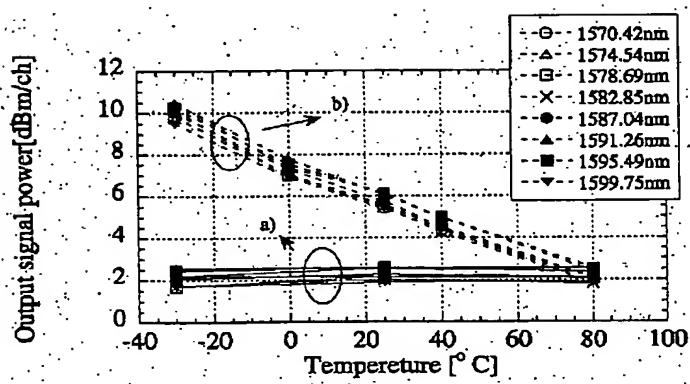
【図34】



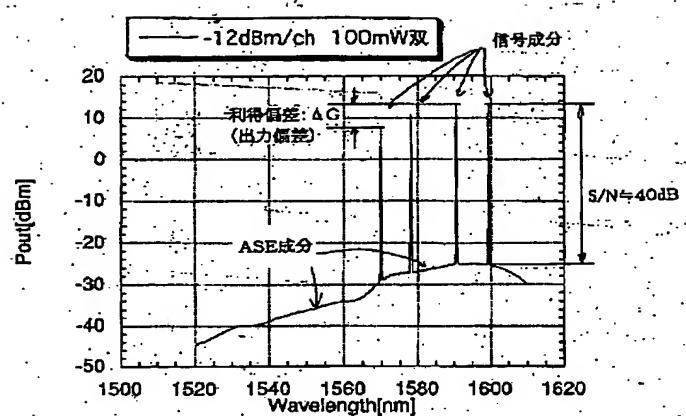
【図35】



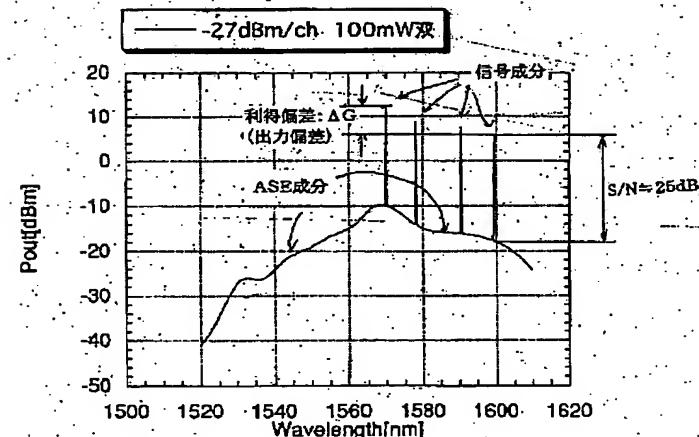
【図37】



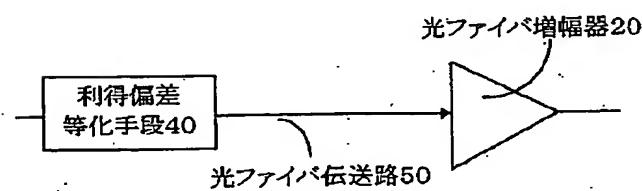
【図38】



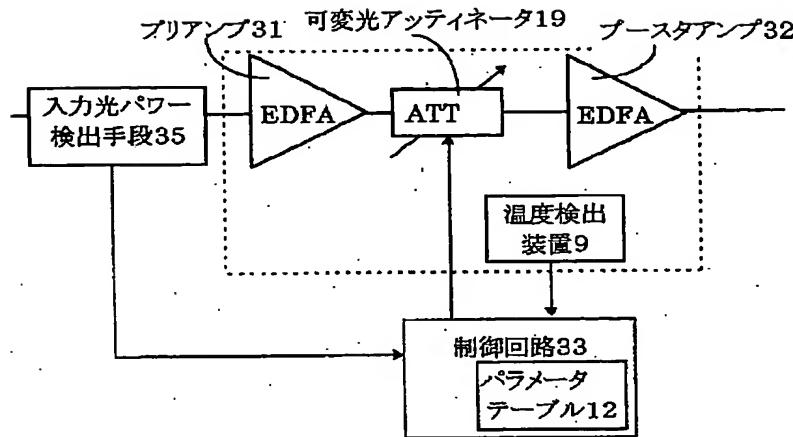
【図39】



【図41】



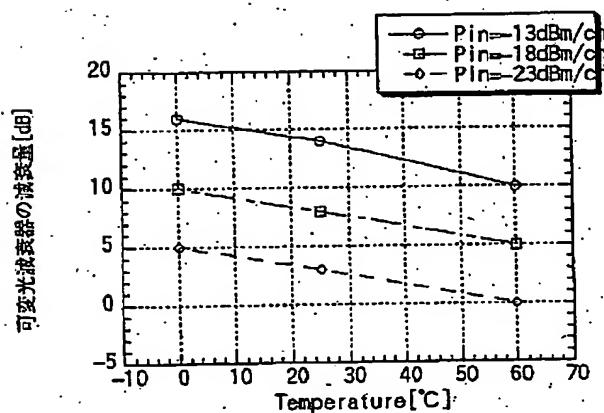
【図42】



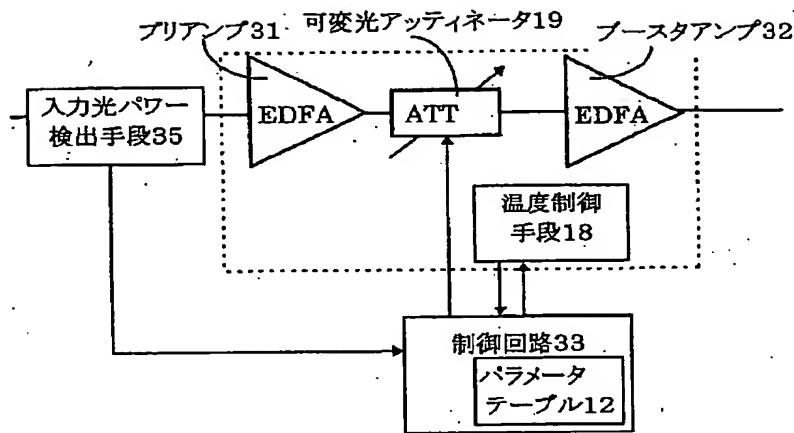
【図43】

Temperature [°C]	Pin [dBm/ch]	ATT減衰量 [dB]	Wavelength [nm]								斜率偏差 [dB]
			1573.71	1577.03	1581.15	1584.53	1588.73	1592.10	1596.34	1599.75	
0	-13	18	8.65	8.27	8.2	8.57	8.22	8.37	8	8.27	1.17
	-18	10	10.33	9.74	9.63	9.95	10.53	10.62	10.27	9.51	1.11
	-23	5	10.68	10.03	9.85	10.18	10.71	10.82	10.42	9.7	1.12
25	-13	14	9.71	9.25	8.84	9.13	9.57	9.74	9.42	8.74	1.00
	-18	8	10.39	9.87	9.56	9.88	10.34	10.48	10.21	9.57	0.93
	-23	3	10.78	10.25	9.85	10.13	10.58	10.71	10.4	9.75	0.68
60	-13	10	10.1	9.86	9.31	9.73	10.16	10.33	10.1	9.51	1.02
	-18	5	10.54	10.2	9.85	10.04	10.44	10.62	10.2	9.73	0.67
	-23	0	10.96	10.58	10.1	10.33	10.76	10.98	10.58	10.06	0.92

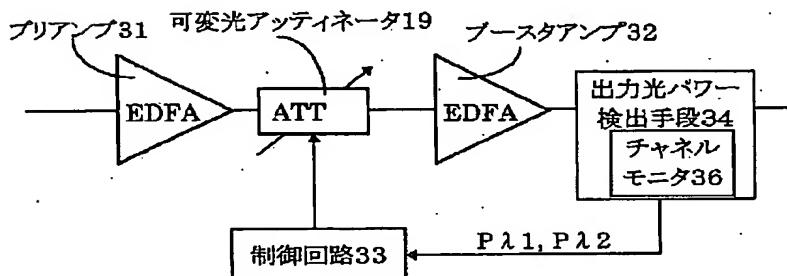
【図44】



【図45】



【図46】



【図47】

出力偏差の傾向	$\lambda 1 - \lambda 2$	原因		光減衰器の減衰量
		入力信号光パワー	環境温度	
短波長側のパワー大	+(プラス)	低い	高い	減少
短波長側のパワー小	-(マイナス)	高い	低い	増加